

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra výrobních strojů a konstruování

DIPLOMOVÁ PRÁCE

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra výrobních strojů a konstruování

Návrh sedačky pro studentskou formuli typu SAE©

Design of Seat for Student Formula SAE type ©

Student:

Bc. Marek Vozda

Vedoucí bakalářské práce:

Dr. Ing. Anna Plchová

Ostrava 2018

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Marek Vozda**
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: 3909T001 Konstrukční a procesní inženýrství
Specializace: 20 Výrobní stroje a zařízení
Téma: **Návrh sedačky pro studentskou formuli typu SAE©
Design of Seat for Student Formula SAE type ©**
Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

Proveďte rešerši v oblasti dosavadních řešení sedaček studentských formulí SAE©.

Navrhněte variantní designové a konstrukční řešení sedačky s ohledem na respektování současných trendů, ergonomických studií, pravidel SAE©. Součástí návrhu musí být konstrukční řešení uchycení sedačky k dodanému rámu prototypu.

Pro vytvoření 3D modelu vašeho řešení zvolte CAD/CAM systém používaný na Fakultě strojní.

Ze 3D modelu vytvořte sestavné výkresy vámi navrhovaného zařízení.

Nakreslete jeden dílenský výkres ze sestavy (zadání bude upřesněno v průběhu řešení).

Proveďte nezbytné výpočty, rovněž s využitím speciálních SW. Vytvořte nezbytné vizualizace.

Rozsah výkresové dokumentace: formát 2xA0, dílenský výkres, bude upřesněno v průběhu řešení.

Při návrhu úzce spolupracujte s řešiteli projektu formule typu SAE© na Fakultě strojní a respektujte jejich požadavky a doporučení.

Seznam doporučené odborné literatury:

FS_SME_05_003 verze: H *Zásady pro vypracování diplomové (bakalářské) práce.*,
ČSN ISO 690 *Bibliografické citace. Obsah, forma a struktura.* Praha: Český normalizační institut,
1996. 32 s.
NĚMČEK, M.: *Řešené příklady z částí a mechanismů strojů.* 2. vydání. Skripta VŠB-TU Ostrava, 2008,
ISBN 978-80-248-1782-8.
BOHÁČEK, F. *Části a mechanismy strojů I a II.* Brno: VUT Brno, 1987.
LEINVEBER, J., VÁVRA, P. *Strojnické tabulky* (4. přepracované vydání). Úvaly, 2008, ALBRA –
pedagogické nakladatelství. 914 s. ISBN 978-80-7361-051-7.
DEJL Z. *Konstrukce strojů a zařízení I – Spojovací části strojů.* Ostrava: Montanex, 2000. 225s. ISBN 80-
7225-018-3.
Učební texty pro oblast „Problematika plastů“ dostupný z www: <URL:
<http://lms.vsb.cz/enrol/index.php?id=26884>
Učební texty pro oblast „Ergonomie“ dostupný z www: <URL:
<http://lms.vsb.cz/course/view.php?id=30750>

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

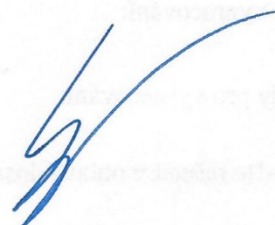
Vedoucí diplomové práce: **Dr.Ing. Anna Plchová**

Datum zadání: 08.12.2017

Datum odevzdání: 21.05.2018



doc. Dr. Ing. Ladislav Kovář
vedoucí katedry



doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě

.....

podpis student

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou (bakalářskou) práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou (bakalářskou) práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová (bakalářská) práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové (bakalářské) práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou (bakalářskou) práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě :.....

.....
podpis

Jméno a příjmení autora práce:

Bc. Marek Vozda

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Květná 30, Bruntál

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

VOZDA, M. *Návrh sedačky pro studentskou formuli typu SAE© : diplomová práce.* Ostrava : VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra výrobních strojů a konstruování, 2018, 59 s. Vedoucí práce: Dr. Ing. Plchová, A.

Tato práce se zabývá designovým a funkčním řešením sedačky pro studentskou formuli. Hlavními kritérii byli hmotnost, pružnost, pevnost a pohodlnost sedačky a zároveň splnění ergonomických studií a pravidel SAE©. Dle jednotlivých návrhů má vzniknout koncept sedačky pro Student Formula SAE©. Součástí práce je konstrukční řešení uchycení navrhované sedačky k rámu formule.

ANNOTATION OF MASTER THESIS

VOZDA, M. *Design of Seat for Student Formula SAE type © : Master Thesis.* Ostrava : VŠB –Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Production Machines and Design, 2018, 59 p. Thesis head: Dr. Ing. Plchová, A.

This thesis deals with the design and functional solution for the student formula. The main criteria were the weight, elasticity, strength and comfort of the seat, while complying with ergonomic studies and the SAE© rules. According to individual designs, the concept of the Student Formula SAE© should be developed. Part of the thesis is the design solution of mounting the proposed seat to the frame of the formula.

Obsah

1.	Úvod	10
1.1.	Program Student Formula.....	10
2.	Rešerše	12
2.1.	Rozdělení podle typu	12
2.2.	Rozdělení podle konstrukce	13
2.3.	Rozdělení podle skladby použitých materiálů	14
2.4.	Sedačky Formula SAE©	15
3.	Cíle práce.....	16
4.	Pravidla SAE©	16
5.	Ergonomie	18
5.1.	Zorné pole	18
5.2.	Podpory a zóny sedačky	19
5.3.	Pozice sedačka-volant	20
5.4.	Pozice sedačka-pedály	20
6.	Skici	21
7.	Opěrka hlavy	22
8.	Firewall.....	23
9.	3D model	24
9.1.	Verze S01.....	25
9.2.	Verze S02.....	30
9.3.	Ostatní verze	33
9.4.	Human builder	35
9.5.	Verze S03.....	37
9.6.	Verze S04.....	39
9.7.	Verze F05.....	43
9.8.	Verze SF06.....	44
10.	Uchycení sedačky k rámu formule	46
11.	MKP	50
11.1.	Nastavení pro simulaci	50
11.2.	MKP sedačka	51
11.3.	MKP opěrka	52
12.	Výroba	53
13.	Designové a bezpečnostní prvky	54
14.	Porovnání sedaček	55

15.	Poděkování.....	56
16.	Závěr.....	57
17.	Seznam použité literatury	58
18.	Seznam příloh.....	59

Seznam zkratek a symbolů

m	Hmotnost	[kg]
g	Gravitační zrychlení	$[m \cdot s^{-2}]$
F	Síla	[N]
3D	Trojrozměrný model	
MKP	Metoda konečných prvků	

1. Úvod

Sedačka je součástí vozidla, v tomto případě formule, sloužící k zabezpečení správné polohy pilota ve voze. Měla by splňovat ergonomické zásady a zajišťovat bezpečnost pilota ve formuli.

Práce probíhala ve spolupráci s týmem Formula Student VŠB-TU Ostrava. K dispozici byla dílna včetně formule což velmi přibližovalo realitu daného problému. Díky této spolupráci jsem mohl jednotlivé problémy řešit přímo s týmem a odnést si tak cenné rady, které jsem mohl dále aplikovat.

V této práci jsem se zároveň chtěl soustředit na samotný design sedačky, ten je ovšem omezen řadou kritérií, které má sedačka splňovat a zároveň svojí funkcí.

1.1. Program Student Formula

Program Student Formula SAE© International je celosvětová konstrukční a zároveň designová soutěž pro vysokoškolské a postgraduální studenty. Soutěž se dělí na 2 kategorie podle toho, jestli má formule spalovací motor nebo elektrický pohon. Soutěž poskytuje účastníkům příležitost k zvýšení jejich dovedností v konstrukčních návrzích, řízení projektu a práci v týmu a zároveň nabízí výzvu v podobě překonání ostatních týmů v závodech. Cílem je navrhnout, vyvinout a postavit jednomístné závodní vozidlo pro neprofesionální víkendový závod, a to s co nejlepším designovým, konstrukčním a cenovým provedením a také s co nejlepšími vlastnostmi vozu.



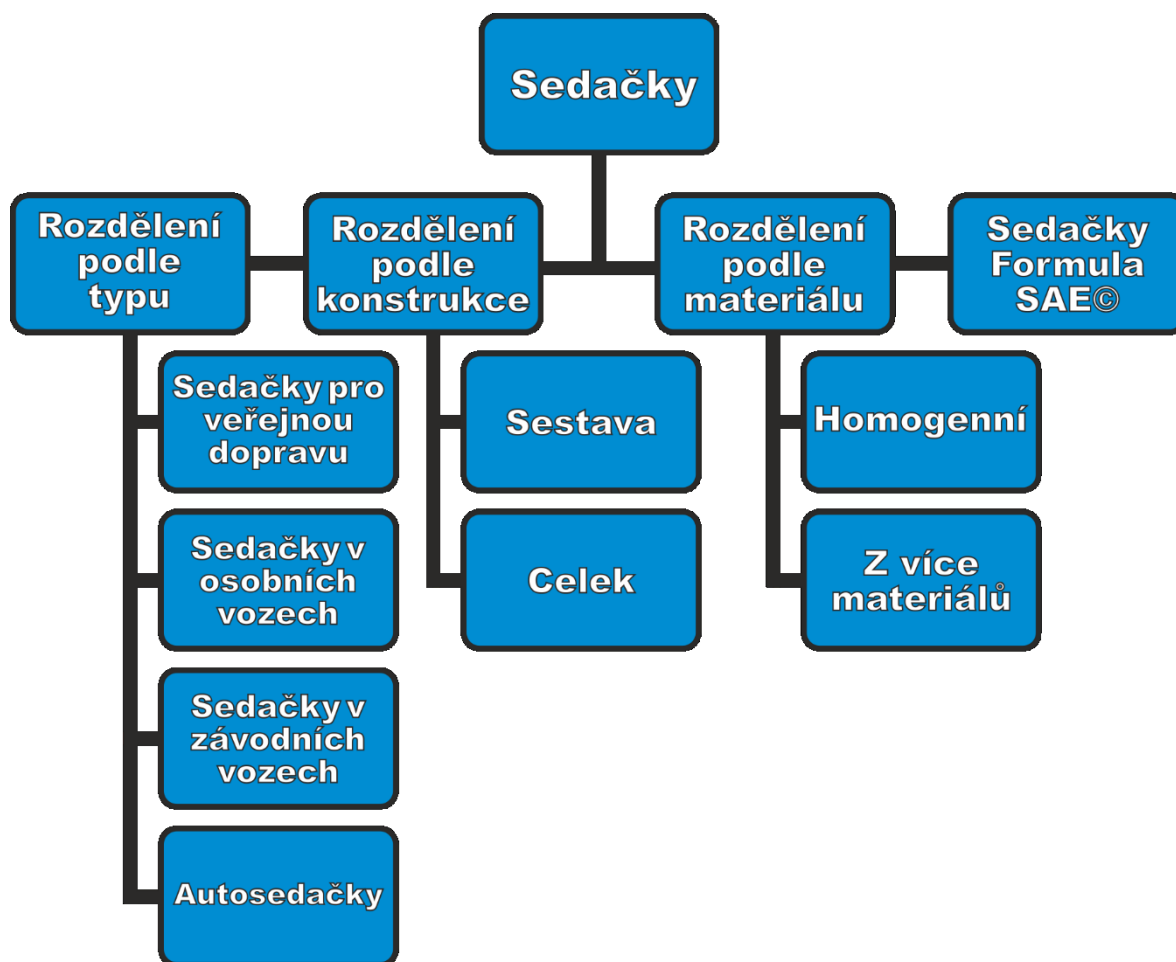
Obr. 1.1 – Společná fotka účastníků závodu [1]

Co se týče VŠB-TU Ostrava prvního hodnocení, kterého se zúčastnila, bylo v září 2015 v Mostě s prvním modelem formule Prot #1. V srpnu 2016 v Györu v Maďarsku se universita zúčastnila i závodů se svým dalším modelem Vector 02. O rok později vznikl model Vector 03. Nová konstrukční řešení modelů přináší řadu vylepšení oproti modelům předchozím. Důkazem je lepší umístění jak v závodech, tak i v jednotlivých disciplínách. V současné době vzniká model Vector 04. Návrh sedačky je optimalizován pro modely Vector 03 a Vector 04. Rám formule je v místech pro sedačku situovaný u obou modelů stejně.



Obr. 1.2 – Formule VŠB-TUO [2]

2. Rešerše



Obr. 2.1 – Diagram

2.1. Rozdělení podle typu

Sedačky ve vozidlech můžeme rozdělit jednoduše do 4 základních skupin a to:

- Sedačky pro veřejnou dopravu
- Sedačky v osobních vozech
- Sedačky v závodních vozech
- Autosedačky

Podle daného typu jsou sedačky různě konstruovány a používají takové materiály, aby co nejlépe splňovaly svoji funkci. Autosedačky pro děti mohou sloužit jako inspirace a přibližná miniatura sedaček závodních. Kromě jejich velikosti se však také liší v použitém materiálu. Díky okolním podporám je v nich dítě více zabezpečeno. Využití podpor je také u sedaček závodních, oproti autosedačkám však mají daleko menší polstrování a tím i menší míru komfortu.

2.2. Rozdělení podle konstrukce

Podle toho, jak je sedačka konstruována, ji můžeme rozdělit především na 2 varianty. První variantou jsou sedačky konstruovány jako sestava jednotlivých částí, které jsou následně pospojovány patřičnými úchyty nebo jiným řešením. Často jsou spojeny s mechanismem pro nastavení jejich polohy ve voze. Typickým příkladem je sedačka v osobním automobilu (obr. č. 2.2, 2.3). Alternativou jsou dětské autosedačky (obr. č. 2.4, 2.5). Druhou variantou jsou sedačky konstruovány jako jeden kus (obr. č. 2.6-2.8). Jejich výhodou je, že se již dále nemusí sestavovat, pomineme-li čalounění. Stále je však nutné jejich upevnění ve vozidle. Sedačky využívané v závodech jsou navrhovány dle postavy pilota pro maximální efektivitu.



Obr. 2.2, 2.3 – Sedačky osobního vozu [3][4]

Obr. 2.4, 2.5 – Dětské autosedačky [5] [6]



Obr. 2.6 – Sedačka Neela Jani, pilota Formule 1 týmu Porsche [7]

Obr. 2.7, 2.8 – Závodní sedačky [8] [9]

Závodní sedačky mohou být dále situovány s opěrkou hlavy (obr. č. 2.8) nebo bez opěrky hlavy (obr. č. 2.6, 2.7). V případě že opěrka hlavy není umístěna na sedačce, musí být umístěna ve voze tak, aby splňovala ergonomické a bezpečnostní požadavky.

2.3. Rozdělení podle skladby použitých materiálů

Z tohoto hlediska můžeme sedačky rozdělit na homogenní (obr. č. 2.6, 2.7) a na sedačky z více materiálů. Požitý materiál v osobních automobilech nebo dopravě je většinou plast, látka, kůže, ale také i kov, který většinou tvoří základ konstrukce. Sedačky osobních vozů mohou obsahovat i elektroniku. Příkladem je pohled do sedačky z Audi A6 na obr. č. 2.9.



Obr. 2.9 – Sedačka osobního automobilu Audi A6 [10]

Ve veřejné dopravě se používají sedačky s látkovým, případně koženým potahem. Ten je ovšem postupně nahrazován plasty pro jednodušší údržbu a delší životnost, ale na úkor komfortu měkké sedačky.

U závodních sedaček naopak můžeme vidět daleko neobvyklejší a dražší materiály jako je například karbon. Tyto speciální materiály se využívají pro své vlastnosti jako jsou: nízká hmotnost, dobrá pevnost a pružnost. Závodní sedačky jsou méně polstrovány, aby řidič lépe vnímal jízdu. Jsou ochuzeny o elektroniku, většinu kovové konstrukce a jiné prvky z důsledků preference nízké hmotnosti.

2.4. Sedačky Formula SAE©

Kapitola pojednává o tom, jak vůbec taková sedačka vypadá, jaké sedačky používají jiné týmy a co předcházelo vývoji nové sedačky pro tým Formula Student VŠB-TU Ostrava.



Obr. 2.10 – Sedačka týmu z univerzity v Dundee [11]

Příkladem je sedačka týmu z univerzity v Dundee (obr. č. 2.10). Přestože splňuje požadavky SAE© není pro jízdu nejvhodnější a dala by se tedy označit za něco jako provizorní verzi. Okraje sedačky jsou poměrně málo vysunuté což může znamenat, že se v ní bude pilot při jízdě pohybovat ze strany na stranu. Další výtka je malá hloubka, která opět může způsobovat nedostatečné udržování pilota v ideální pozici.

Původním řešením týmu Formula Student VŠB-TU Ostrava bylo také provizorní, jednalo se v podstatě o opěrku zad a část na sezení. Možno vidět na obr. č. 2.11.



Obr. 2.11 – Původní řešení týmu Formule Student VŠB-TU Ostrava

3. Cíle práce

Cílem je vytvořit koncept sedačky pro studentskou formuli typu SAE©, který bude splňovat požadovaná kritéria a to:

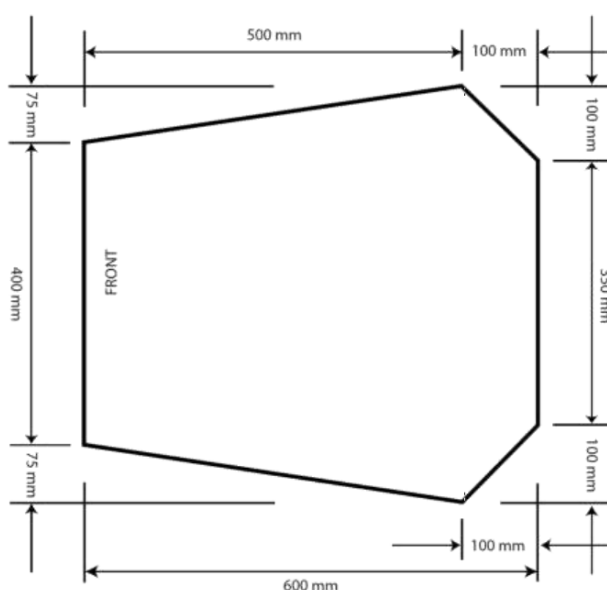
- Sedačka bude mít co největší pevnost
- Sedačka bude těsná ale zároveň pohodlná
- Sedačka bude mít co nejmenší hmotnost
- Sedačka bude splňovat požadavky vyplývající z ergonomických studií
- Sedačka bude splňovat všechny zásady z pravidel SAE©

K finální variantě bude dále řešeno její uchycení k rámu formule. Toto uchycení musí opět splňovat zásady z pravidel SAE©. Aby bylo možné posoudit, zda sedačka obstojí dynamické namáhání v při jízdě, využiji MKP – metodu konečných prvků.

4. Pravidla SAE©

Pravidla SAE© jsou souborem informací, které stanovují zásady pro konstrukci formule a zároveň stanovují základní bezpečnostní kritéria, které je nutno dodržet. V případě nedodržení pravidel by mohlo dojít k ohrožení pilota na životě nebo k událostem, které by při jízdě mohly vyvolat kolizi. Pokud pravidla nejsou splněna, daný tým se s formulí nemůže zúčastnit závodů a jednotlivých soutěží.

Pro tuto práci jsou podstatná pravidla, která se týkají samotné sedačky, její pozice, poloze pilota a umístění dalších prvků formule. Příkladem je pravidlo, které pojednává o minimální velikosti cockpitu (obr. č. 10).



Obr. 4.1 – Dovolенý prostor v cockpitu [12]

Plocha (deska) o těchto rozměrech musí být schopna projít vertikálně cockpitem a to až do úrovně 350mm od základů formule, přičemž sedačka a volant mohou být v tuto chvíli vyndány z vozu.

Jako další příklad lze uvést pravidlo zabezpečení pilota pásy. Pásy jsou specifikovány podle daných kritérií. Pro formule typu SAE© se využívá pěti, šesti nebo sedmi bodových pásů. V případě týmu Formula Student VŠB-TU Ostrava je využito pásů šesti bodových. Pásy jsou připevněny k rámu formule odkud vedou k pilotovi tak, aby zaručovali jeho pevnou pozici v sedačce. Z toho zároveň vyplývá, že na sedačce je nutno mít prostor případně vymezené otvory pro průchod těchto pásů. Příkladem jsou pásy firmy Sparco. Jejich popis je znázorněn na obr. č. 4.2. Pásy se vyrábí v několika variantách dle použitého materiálu na jednotlivá uchycení a prodloužení pásů.



Obr. 4.2 – Bezpečnostních pásy Sparco [13]

Břišní a ramenní pásy mají tloušťku 3“ tedy 76 mm, pásy v rozkroku mají tloušťku 2“ tedy 51 mm a musí obsahovat kovové zakončení do kterého se dají připnout břišní a ramenní pásy. Břišní pásy nemohou vést přes sedačku a musí vést kolem pánve pilota. V sedačce tedy musí být otvory, kterými pásy projdou a tím bude dosaženo většího sevření pilota v sedačce.

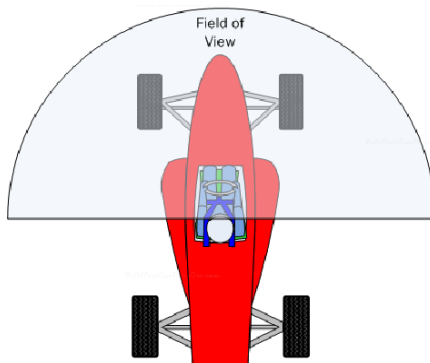
Další pravidla se týkají například pevnosti a typu šroubů k uchycení sedačky k rámu, vlastnostech a nutnostech firewallu nebo podmínek pro umístění opěrky hlavy. Tyto pravidla jsou popsány v příslušných kapitolách. Zbytek pravidel lze nalézt v příloze.

5. Ergonomie

Při návrhu sedačky je také potřeba dbát na ergonomii. Účelem je zajistit, aby sedačka nezpůsobovala pilotovi žádné komplikace při řízení. Při návrhu rozhraní mezi osobou a strojem by měly být brány v potaz některé aspekty k dosažení co nejlepšího ovládání vozidla a kontroly nad ním.

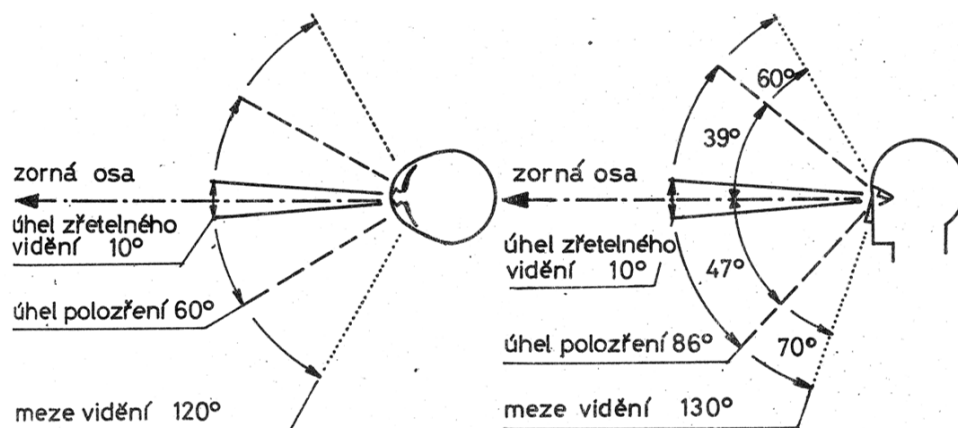
5.1. Zorné pole

Z hlediska umístění sedačky je důležité, aby měl pilot k dispozici zorné pole o velikosti alespoň 180° . Zorné pole je zobrazeno na obr. č.14. Pilot je takhle schopen získat dostatečné informace o povaze blížícího se povrchu vozovky a také o tom, co se s ní děje pomocí periferního vidění a tím tak zajistit bezpečnou jízdu. Musí-li pilot protahovat krk, je zřejmé, že jeho zorné pole není adekvátní. Pilot by měl mít dále vizuální přístup k měřícím panelům.



Obr. 5.1 – Zorné pole pilota [14]

Ve skutečnosti ovšem lidské oko není schopno vnímat v plném úhlu 180° . Hranice meze vidění se pohybuje okolo 120° .



Obr. 5.2 – Meze lidského vidění [15]

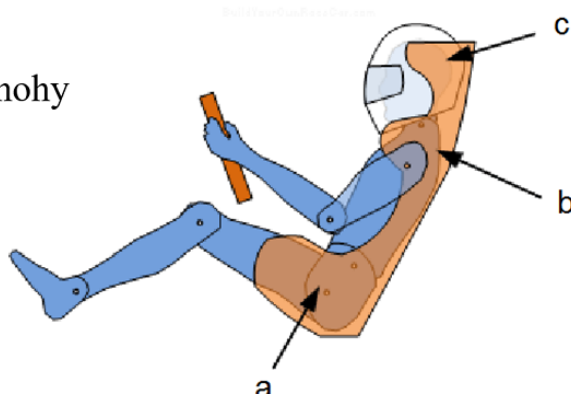
5.2. Podpory a zóny sedačky

Závodní sedačka by měla udržovat pilota při jízdě v pevné, pohodlné pozici tak, aby neměl tendenci se do ní dostávat sám. Z tohoto důvodu jsou často tyto sedačky hluboké a těsné. Bezpečnost pilota by měla být zaručena pásy. Oproti sedačkám v klasických dopravních vozech závodní sedačky nebývají velmi polstrovány. Je to z toho důvodu, aby pilot lépe vnímal jízdu a byl tak schopen rychleji reagovat na jízdní situace. Sedačky by měla mít správnou tuhost. Je-li sedadlo příliš měkké, pilot hůř vnímá pohyb vozu. Je-li naopak sedadlo příliš tvrdé, může pilotovi způsobovat bolest, únavu, a dokonce i modřiny.

a) Podpora pro boky a nohy

b) Podpora pro ramena

c) Podpora pro hlavu



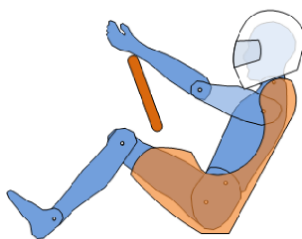
Obr. 5.3 – Vzdálenost pilota od volantu [16]

Dle jednotlivých podpor si sedačku můžeme rozdělit na 3 zóny. Každá z těchto 3 zón je situována pro dané části pilotova těla. Později, v průběhu řešení jsem po konzultacích s týmem došel k závěru, že je třeba se zvláště zaměřit na kritickou oblast v úrovni pasu pilota. Tato oblast je kritická v tom, že její rozměry nejvíce ovlivňují maximální rozměry postavy pilota. Sedačku je tedy nutné navrhnout tak aby byla:

- Universální pro co nejvíc profilů postav pilotů
- Dostatečně těsná, aby plnila svou funkci držet pilota na místě
- Splňovala pravidla SAE©

5.3. Pozice sedačka-volant

Pro ovládání vozidla je nutno mít zajištěno pozici k jeho ovládacím prvkům. Špatná pozice může vést k odvádění pozornosti pilota a tím zapříčinit nechtěné jízdní chyby. Nejdůležitějšími aspekty v kategorii volant-sedačka jsou vzdálenost volantu od řidiče a prostor pro lokty. Špatné umístění volantu může zapříčinit horší řízení pilota a způsobovat větší únavu. Prostor pro lokty je důležitý. Při natáčení volantu se jedna ruka dostává blíže k tělu, a proto musí být zajištěno, aby jí nic nebránilo v plynulém pohybu. V opačném případě je pilot nucen udržovat ruce v „křídélkové“ poloze, aby nezavadil o sedačku nebo si tlačí lokty na hrudní koš. V obou případech je situace nepříjemná.

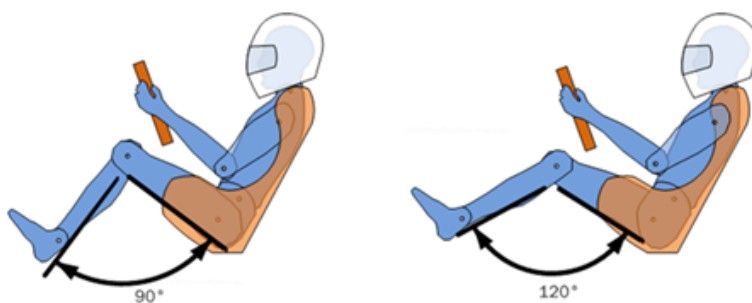


Obr. 5.4 – Vzdálenost pilota od volantu [14]

5.4. Pozice sedačka-pedály

Samotné pedály musí být navrženy tak aby měli vhodnou citlivost a zároveň dobrý pákový poměr. V opačném případě by mohlo docházet například k obtížnému řízení na hrbolatém povrchu nebo k únavě pilota.

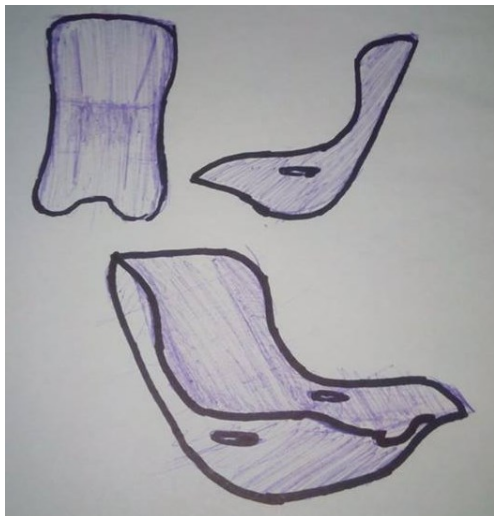
Podstatným faktorem pro sedačku je ale vzdálenost pedálů od pilota. Vzhledem k omezenému pohybu nohou pilota musí být umístěny ve správné vzdálenosti tak aby pilot zbytečně nemusel natahovat nohy z výchozí polohy. Ideální poloha je pro každého pilota jiná, ale obecně platí, že při nesešlápnuté poloze by úhel nohou neměl být menší než 90° . Pro pohodlnější pozici a ovládání kratších pedálů může být zvolen úhel 120° anebo i více. Obě varianty jsou znázorněny na obr. č.16.



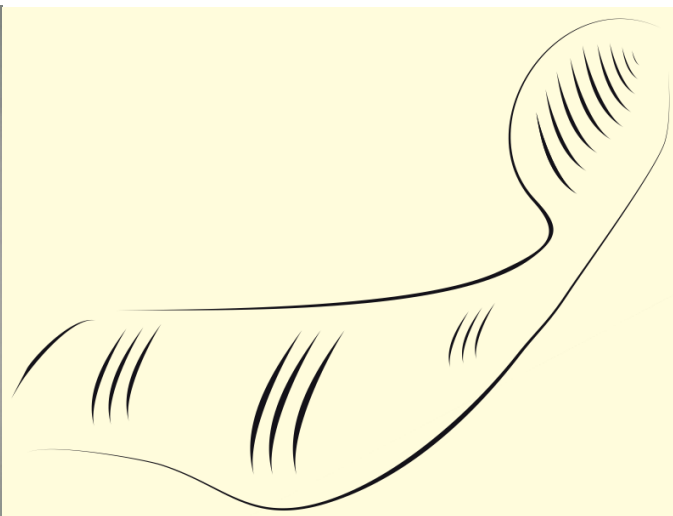
Obr. 5.5 – Úhel nohou pilota [17]

6. Skici

Vývoji jednotlivých variant předcházely skici, sloužící jako rychlý převod myšlenky do vizuální podoby.



Obr. 6.1 – Skici



Obr. 6.2 – Designový prvek

Samotné designové řešení bylo velmi omezené, protože tvar sedačky bylo nutno přizpůsobit pravidlům a ostatním nárokům, které byly na sedačku kladeny. Možným designovým prvkem by mohli být otvory na bočních podporách. Jejich realizací by došlo k odebraná materiálu a tím i ke snížení hmotnosti. Nevýhodu však je, že by zároveň snížili pevnostní vlastnosti sedačky v daných místech.

Prvotní úvaha nad tvarem sedačky nezahrnovala opěrku hlavy, ta byla vyřešena již dříve týmem Formula Student VŠB-TU Ostrava. Z hlediska designu jsou opěrka hlavy a boční podpory částmi, které nejvíce ovlivňuje celkový vzhled sedačky. Při tvorbě řešerše jsem se seznámil s různými varianty. Z designového pohledu by sedačka s opěrkou působí plněji, robustněji. Na druhou stranu, v mnoha variantách je propojení realizováno množstvím materiálu v oblasti zad-ramen pilota což je nežádoucí vůči hmotnosti.

Výsledkem bylo vytvoření varianty S03 v kombinaci s opěrkou hlavy týmu Formula Student VŠB-TU Ostrava a varianty S04, která je s opěrkou hlavy spojena v jeden kus. Více o opěrce hlavy v následující kapitole.

7. Opěrka hlavy

Součástí formule, sloužící k zabezpečení pozice pilotovi hlavy. Zamezuje pohyb hlavy proti směru jízdy. Bez ní by jízda mohla být pro pilota nepříjemná, a především i nebezpečná. Z těchto důvodů je opěrka hlavy nezbytnou součástí.

Současná opěrka hlavy (obr. č. 7.1) byla zrealizována již v předešlých letech týmem Formula Student VŠB-TU Ostrava. Pěnový polštář je spojen s karbonovou částí, která je upevněna na hliníkový rámeček. Ten je uchycen šrouby na čtyřech místech k přidavnému rámu tvořeného z karbonových trubek. Na rámu formule jsou přivařeny čtyři „oka“ ke kterým je přidavný rám přišroubován.



Obr. 7.1 – Opěrka hlavy

Její největší výhodou je její výšková nastavitelnost. Konstrukce je navržena tak, aby bylo možno s opěrkou hlavy manipulovat ve svislém směru. Maximální vzdálenost, o kterou je možno opěrku posunout od nejnižší úrovně, je 86 mm. Tím, že je opěrka nastavitelná, stává se univerzální pro všechny piloty.

8. Firewall

Součástí formule, která chrání pilota před případným vznícením motoru a proti úrazu elektrickým proudem a samotnému kontaktu s jakýmkoliv materiálem, který by nažhavením mohl přesahovat teplotu 60° C. Firewall je umístěn za sedačkou a musí splňovat kritéria pravidel SAE©. Materiál firewallu není pevně definován. Podstatné je, že musí oddělovat pilota od všech komponentů přívodu paliva, motorového oleje, chladicí kapaliny a systémů vysokého napětí. Musí chránit krk nejvyššího pilota do výšky 100 mm od spodní hrany helmy. Firewall nesmí obsahovat otvory (např. otvory na pásy).

Firewall, který je v současnosti používán týmem Formula Student VŠB-TU Ostrava, je možno vidět na obr. č. 8.1. Boční profil se přibližuje profilu sedačky v oblasti zad a končí u trubky rámu. Je vyroben z několika vrstev materiálů. Prvním z nich je karbon, který tvoří povrchovou vrstvu a zaručuje odolnost. Ze strany k motoru je vrstva hliníkové fólie, ta slouží k odražení tepla. Mezi těmito vrstvami je vrstva skelného vlákna. Tento materiál byl zvolen pro svou nízkou hmotnost a velkou pružnost. Tloušťka firewallu je přibližně 3 mm. Toto řešení je efektivní, ale nabízí se i řešení jiná. Jako příklad je možno uvést řešení týmu z Tallinn University of Technology (obr. č. 8.2). Jde o spojení sedačky a firewallu v jedno. Sedačka má v tomto případě protažené okraje podpor do stran k rámu. Pod sedačkou je umístěn firewall, který zjednodušeně kopíruje její profil a je s ní spojený.



Obr. 8.1 vlevo – Řešení týmu Formula Student VŠB-TU Ostrava

Obr. 8.2 vpravo – Řešení týmu z Tallinn University of Technology [18]

9. 3D model

Pro tvorbu 3D modelu jsem využil programu Autodesk Inventor Professional 2018. Důvodem volby tohoto programu byla znalost jeho ovládání a zároveň jeho přívětivé pracovní prostředí. Navíc jsem mohl využít nástroje, které jsem doposud nepoužíval, a tím získat nové zkušenosti. Stejný program jsem využil při tvorbě bakalářské práce.

Nejprve bylo nutné osvojit si pracovní nástroje programu. Ne všechny zvolené postupy vedly k požadovanému výsledku. V průběhu bylo vytvořeno několik verzí 3D modelů sedaček a to v různých variantách. Postupně jsem se s každou verzí zdokonaloval v ovládání nástrojů pro modelování a řešil jsem vznikající problémy elegantnějším způsobem. Prvotní verze S01 posloužila jako hrubý náčrt pro odkrytí problémů pro tvorbu verze S02 a zároveň odhalila i způsoby kterými se k požadovanému tvaru není možno dopracovat. Verze S02 byla již lépe rozměrově situovaná a přinesla další pokrok v tvorbě. Využitím modulu Human Builder programu Catia V5 v kombinaci se zkušenostmi z modelování předešlých verzí vznikla verze S03, která je plnohodnotným konceptem navrhované sedačky. Její alternativou je verze S04, která navíc zahrnuje řešení opěrky hlavy. Dalším modelem je firewall F05, který odděluje sedačku od pohonné části formule. Závěrečným model je verze SF06. Jde o kombinací prvků firewallu z verze F05 a těla sedačky verze S04.

Jako předloha pro prvotní modelování posloužila sedačka z motokáry (obr. č. 9.1), kterou měl zrovna tým Formula Student VŠB-TU Ostrava k dispozici, a to pro její velmi kladné ohlasy pilotů. Bylo provedeno přibližné měření rozměrů, díky kterým jsem začal vytvářet 3D model - verzi S01.

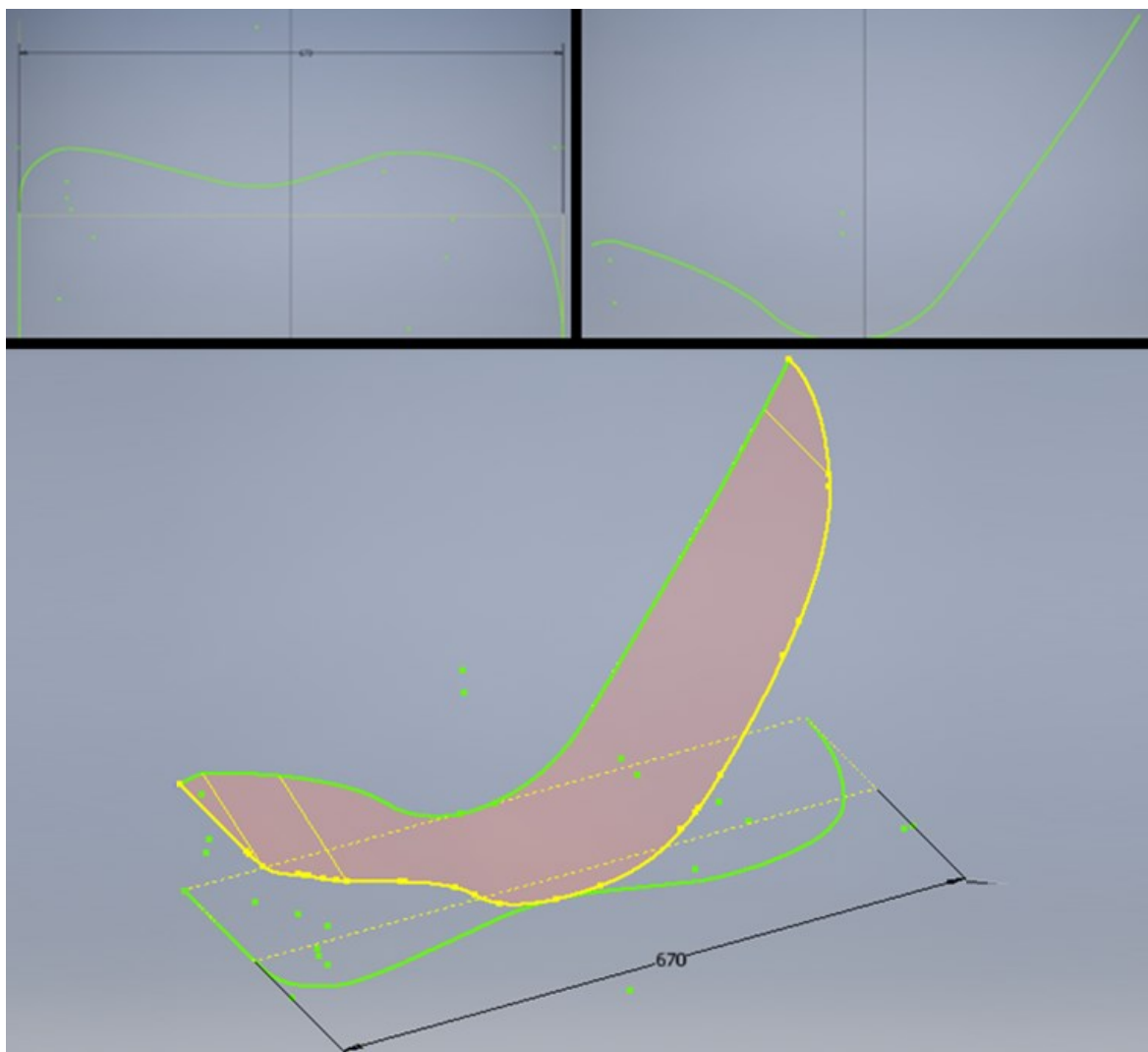


Obr. 9.1 – Sedačka z motokáry

9.1. Verze S01

Vzhledem k tomu že sedačka nemá pravidelný tvar, bylo nutno přistupovat k tvorbě postupně, od parametrů, které se dali převést do 2D. Možností jak vytvořit takový tvar je více, já se rozhodl pro následující postup.

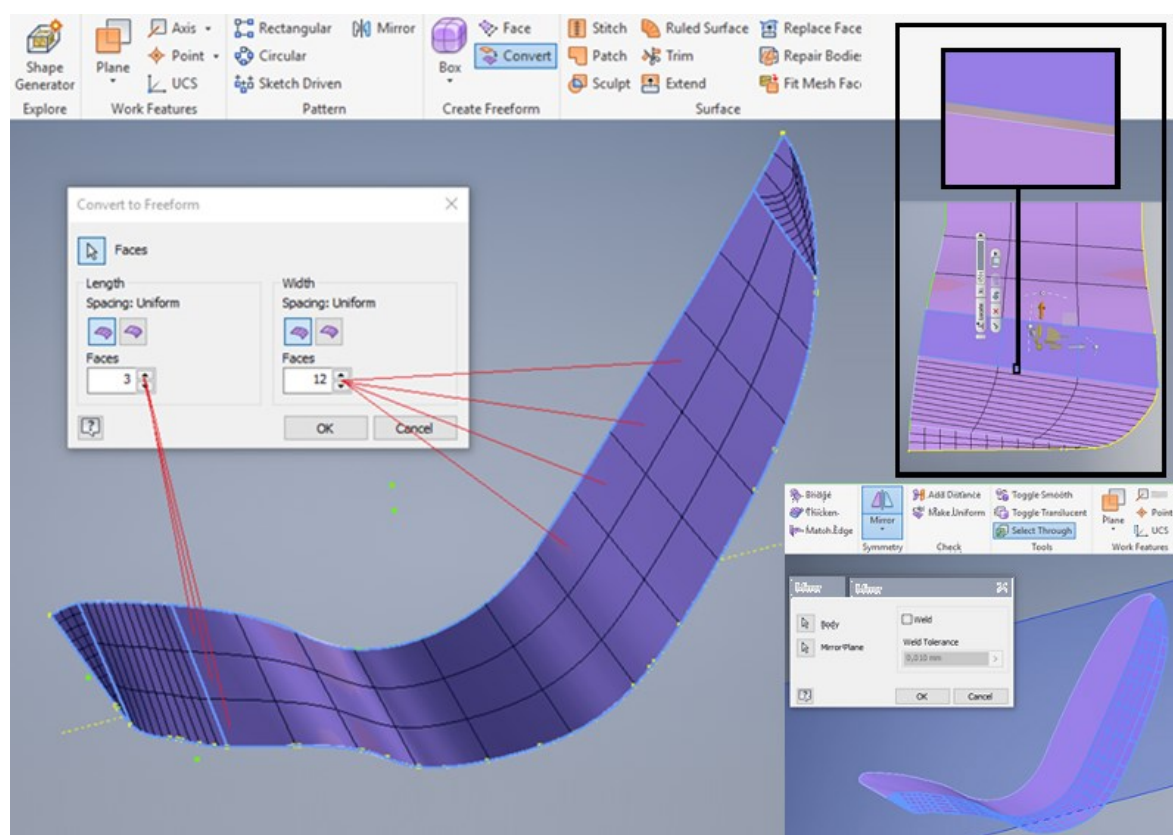
Prvním krokem byla tvorba 2D skic v horní a boční rovině. Díky přibližným rozměrům sedačky z motokáry jsem byl schopen vytvořit odpovídající profily. Následně bylo nutno vytvořit křivku, která je jejich kombinací. K této operaci jsem využil nástroj Intersection Curve. Vznikla křivka, která je na obr. č. 9.2 žlutě. Pomocí této křivky, křivky v boční rovině a nástroje Loft vzniká plocha mezi vybranými křivkami.



Obr.9.2 – Skica v horní rovině (vlevo), v boční rovině (vpravo) Intersection Curve (žlutá křivka) a Loft (oranžová plocha)

Na obrázku č. 9.3 je znázorněno převedení vytvořené plochy na volný tvar. Operace je provedena nástrojem Convert. Po vybrání patřičných ploch je nutno zvolit počet vertikálních a horizontálních rozdělení. V tomto případě jsou 3 vertikální dostačující, horizontálních je ovšem potřeba nastavit více aby byl zachován boční profil. Volím 12 z maximálních 20.

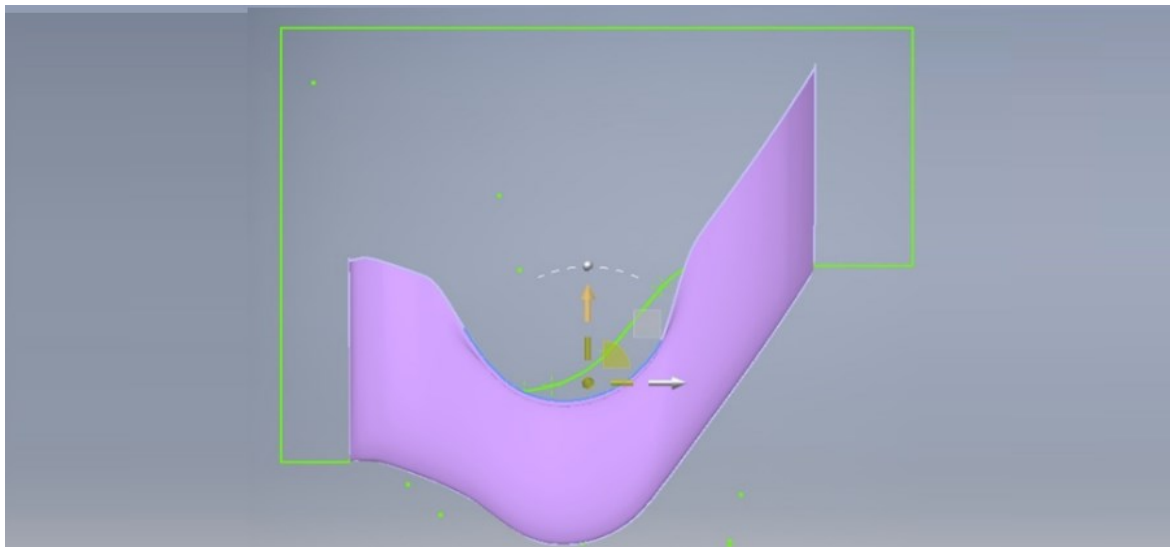
Vzniká první úskalí – plocha je rozdělena na 4 části a není možné s ní manipulovat jako s celkem (obr. č. 9.3 plochy ohraničené modře). Problém jsem vyřešil pomocí nástroje Merge Edges, který je součástí volného tvarování. Pro každé spojení hran – v tomto případě pro 3 spojení je nutno vybrat zvlášť hrany které se překrývají jako sadu 1 a sadu 2. Jejich spojení dodává vytvořené ploše patřičnou kontinuitu.



Obr. 9.3 – Převod na volný tvar, detail sjednocení hrany, zrcadlení plochy

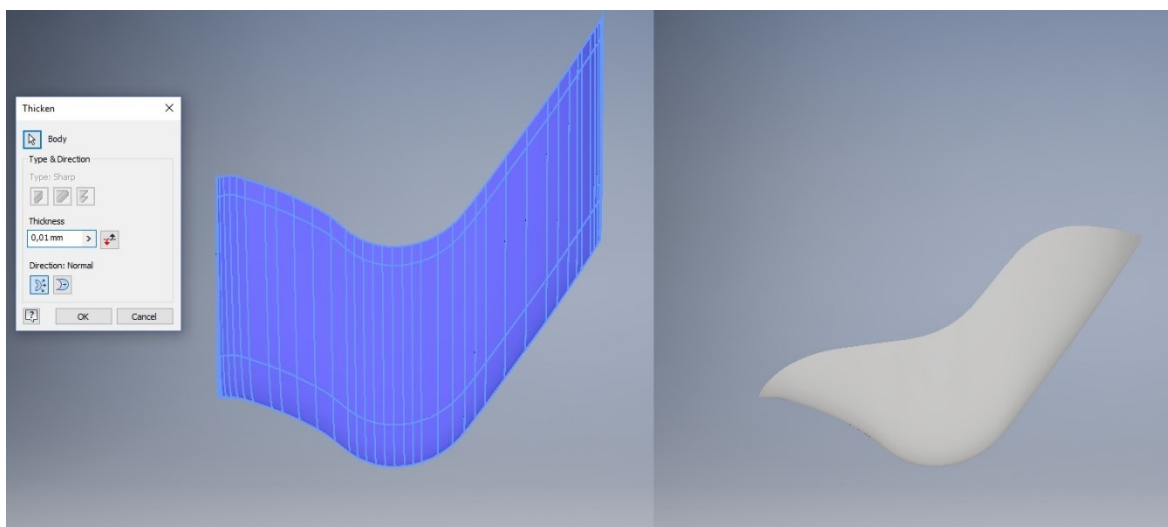
Polovina základní plochy je připravena, nástrojem Mirror ji můžeme nechat zrcadlit přes vybranou rovinu, v tomto případě přes rovinu XY.

První variantou, jak vytvořit boční podpory, bylo vytáhnout stěny nad hranici požadovaného profilu pomocí volného tvarování a následně je oříznout nástrojem odebrat vysunutí, který odstraní vše ve zvoleném profilu (zelené křivky na obr. č. 9.4).



Obr. 9.4 – Tvorba bočnic a profil pro odebrání vysunutí

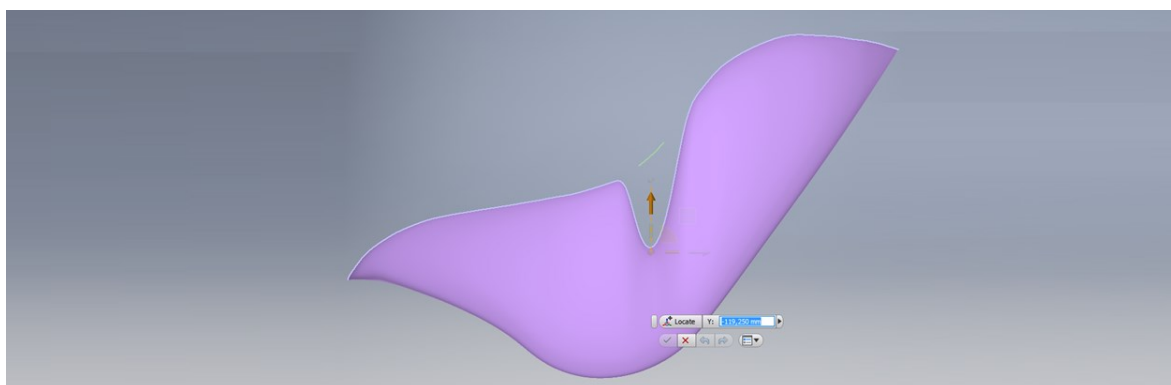
Ukázalo se, že program neumožňuje odebrání vysunutí pro volný tvar s nulovou tloušťkou. Bylo tedy potřeba nejprve tloušťku přidat. Zvolil jsem pro tuto operaci tloušťku 0,01 mm. Tento rozměr je zanedbatelný a umožní provést předem zmiňovanou operaci a díky tomu dostáváme přesný tvar bočního profilu.



Obr. 9.5 – Nastavené tloušťky a tvar po úpravě

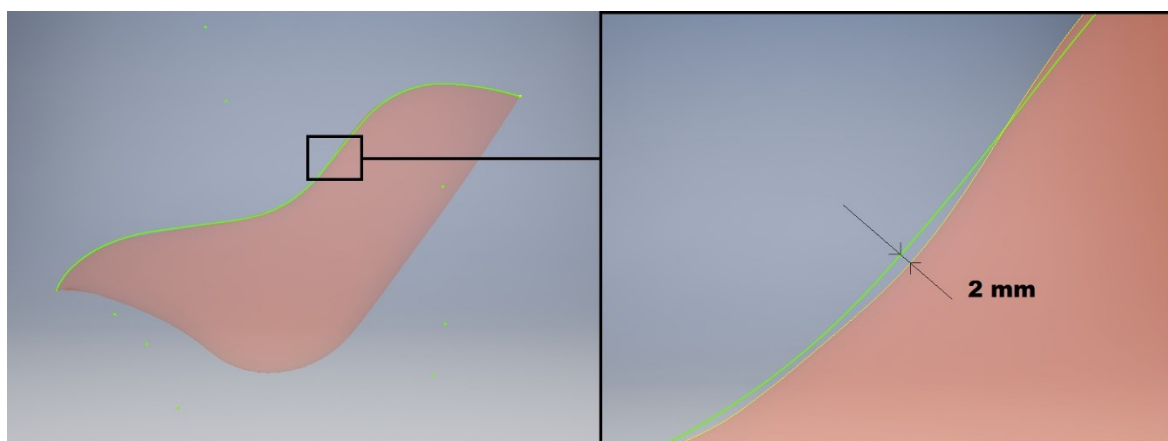
V této chvíli ovšem nastává nečekaný problém. Nově vytvořené těleso již nelze převést na volný tvar a není možno editovat jeho části. Editace je ovšem nutná proto volím jinou variantu postupu.

Druhou variantou bylo vytvarovat bočnice pomocí nástroje tvar podle zobrazeného profilu. V režimu volného tvaru jsem natahoval hrany a body tak, aby odpovídali bočnímu profilu. Místy bylo nutno body pootočit, aby jejich natahování, případně zkracování probíhalo ve správném směru. Postup je znázorněn na obr. č. 9.6



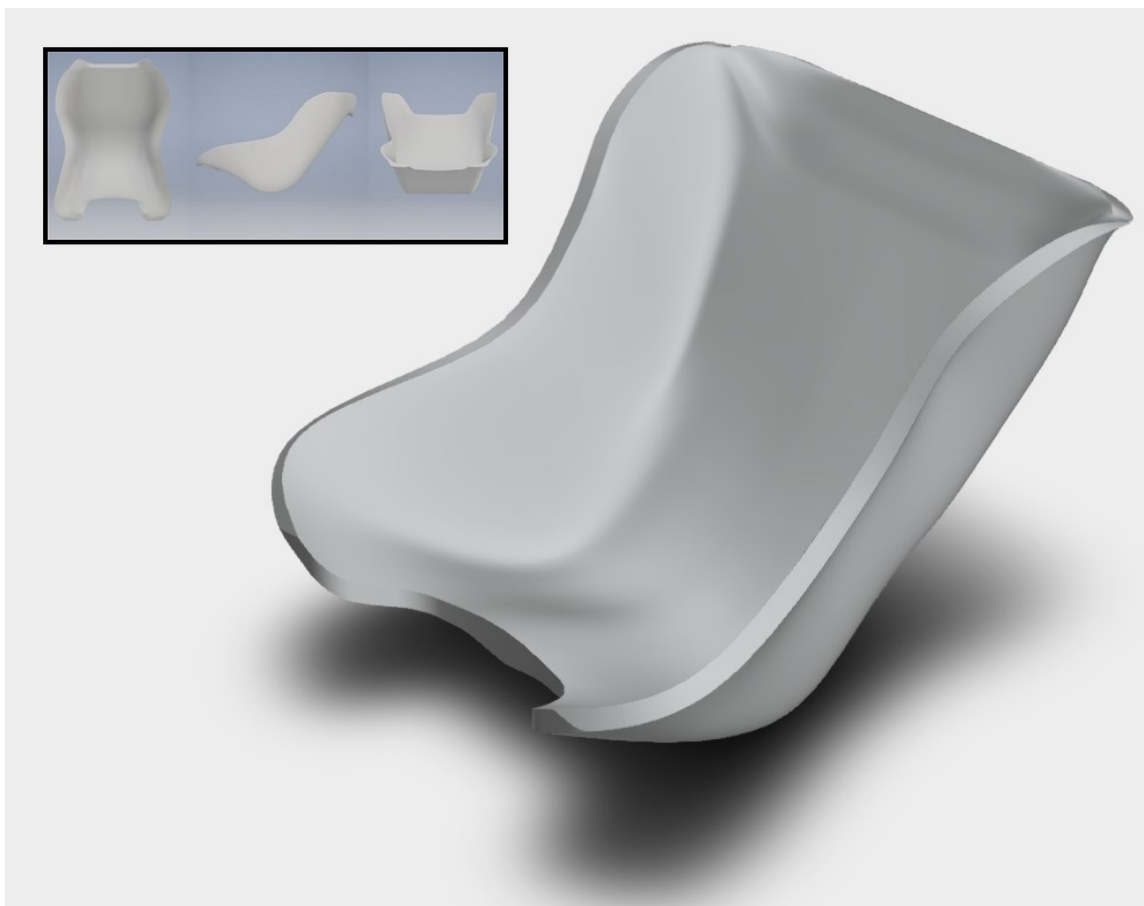
Obr. 9.6 – Tvorba bočních podpor sedačky

Na konci této varianty jsem došel k požadovanému profilu s odchylkou cca 2 mm. Dalo by se dostat i k vyšší přesnosti, ale tato hodnota byla v této fázi dostačující. Detail na obrázku č. 9.7.



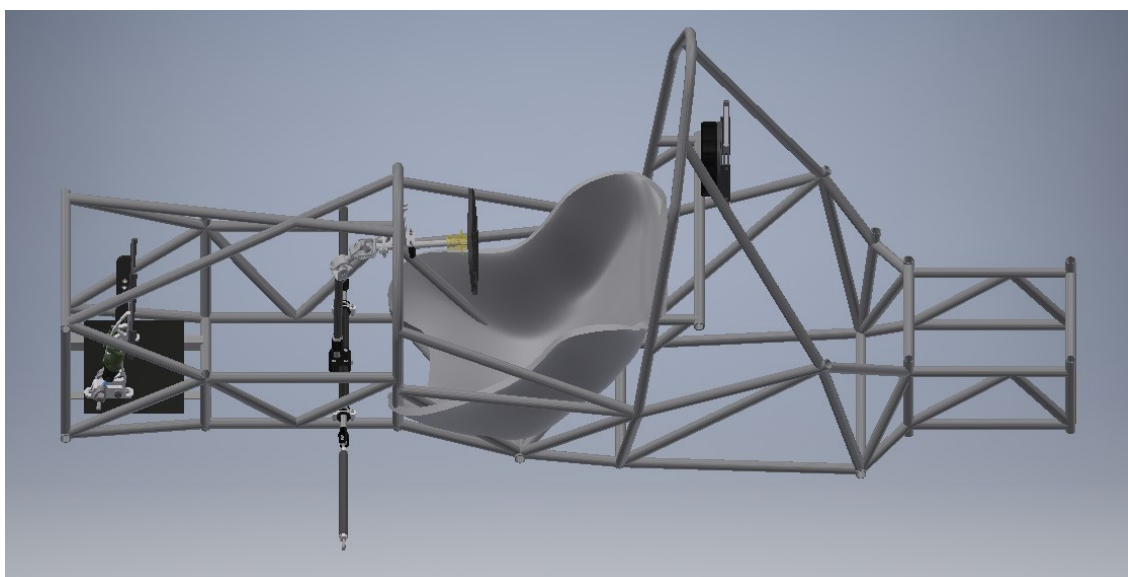
Obr. 9.7 – Detail na rozdíl v profilu

Následovali úpravy okrajových zakončení sedačky a také vytvoření požadovaného prostoru pro pásy. Všechny operace probíhali nástrojem upravit tvar. Díky tomu že je sedačka symetrická, úpravy na jedné straně se okamžitě projeví i na straně druhé. I přesto že tvar sedačky může působit jednoduše, některé tvarovací operace vyžadovali větší výkon počítače. Posledním krokem bylo nastavení požadované tloušťky stěny sedačky. Model vznikl před konzultací s týmem Formula Student VŠB-TU Ostrava s tloušťkou 20 mm. Ta byla později stanovena na 3 mm. Hotová verze S01 je na obr. č. 9.8.



Obr. 9.8 – Sedačka verze S01

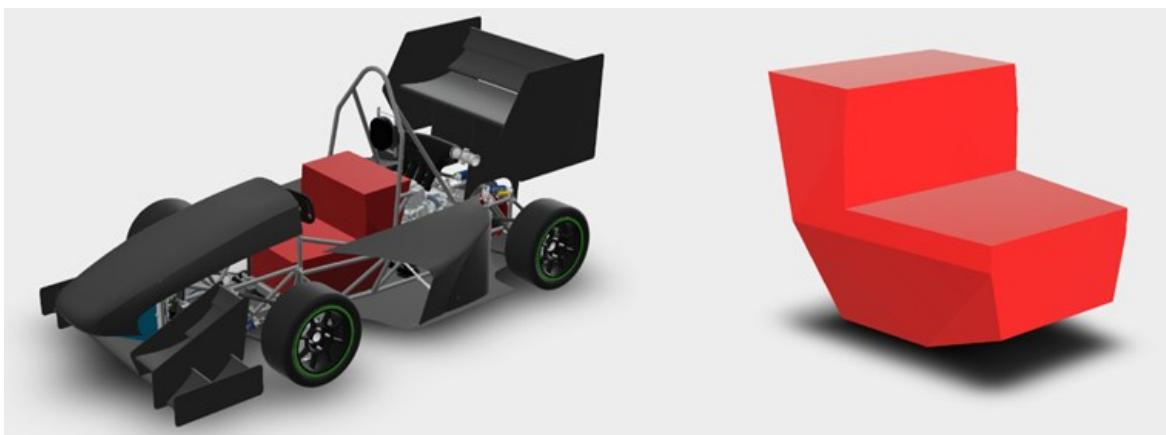
Sedačka byla později otestována vložením do 3D modelu formule. Rozměry na některých místech přecházeli rám formule – došlo ke kolizi – sedačka neuspěla.



Obr. 9.9 – Umístění sedačky v rámu

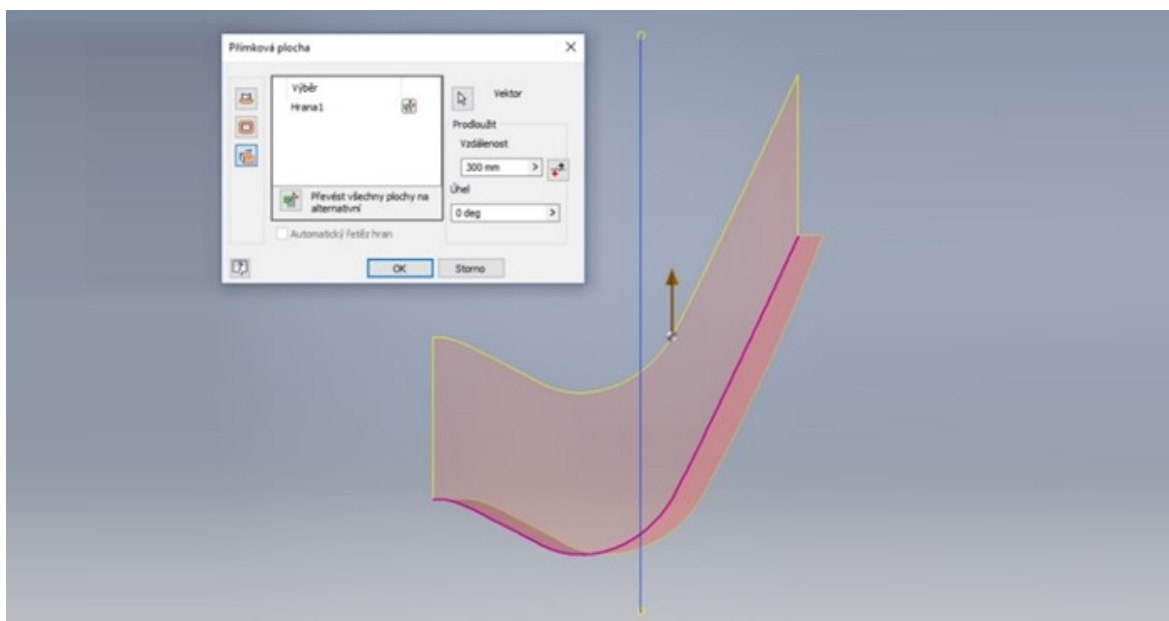
9.2. Verze S02

Smyslem verze S02 bylo vytvořit novou variantu tak, aby již splňovala požadované rozměry rámu, pravidla SAE© a zároveň by splňovala ergonomická studia. V této chvíli jsem už měl k dispozici 3D model formule na kterém došlo k vyměření maximálního prostoru pro novou verzi sedačky. Prostor, ve kterém může být sedačka umístěna je ohraničen plochy rámu. Vytvořil jsem tedy model (červené těleso na obr. 9.10), jehož hrany následně posloužili jako hraniční křivky při tvorbě sedačky verze S02.



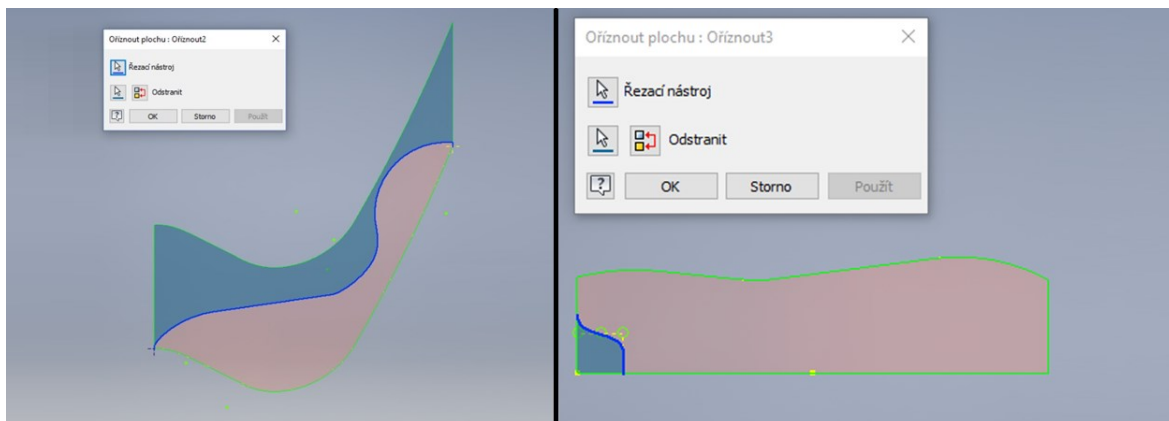
Obr. 9.10 – Volný prostor pro sedačku

Modelování probíhalo obdobným způsobem jako u verze S01. Rozdíl byl v použitých 2D skicích. Jejich kombinací a použitými nástroji vznikla plocha, na které nebylo nutno dodatečně sjednocovat hrany. Změna také přichází v podobě objevení nástrojů Trim a Ruled Surface. Nástroj Ruled Surface dokáže vytvořit plochu z křivky podle daného vektoru (obr. č. 9.11 osa Y).



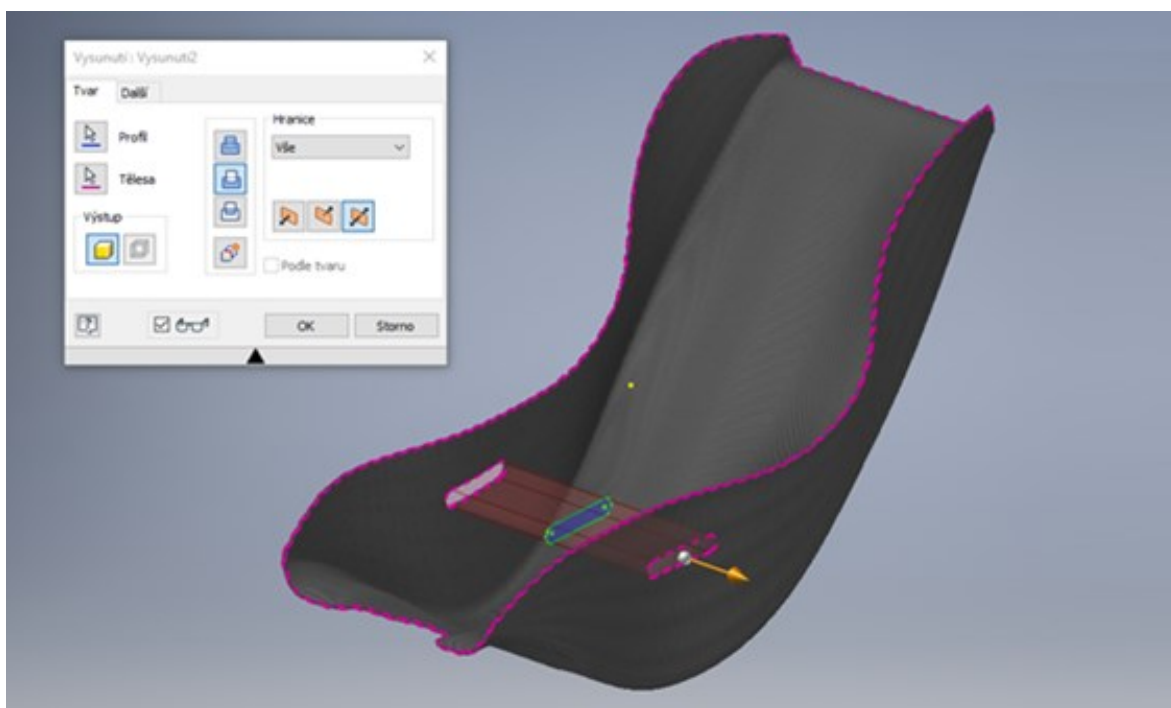
Obr. 9.11 – Ruled Surface

Nástroj Trim je schopen oříznout plochu podle zvoleného profilu. Profil slouží jako řezací nástroj, který rozdělí plochu na 2 části. Po aplikaci nástroje požadovaná část plochy zůstane a zbývající část je smazána. Nástroje Trim a Ruled Surface přináší jednodušší řešení, kterého jsem chtěl docílit ve verzi S01. Ze získaných zkušeností z konzultací byl profil upraven v oblasti loktů pilota tak, aby nedocházelo ke kolizi s podpory.



Obr. 9.12 – Trim

Následovalo převedení ploch na tvar a zrcadlení nově vzniklého tvaru. Přidáním tloušťky vzniká požadované těleso – sedačka. Zbývalo vytvořit otvory pro bezpečnostní pásy na podporách sedačky. Na zvolené středové rovině byl vytvořen profil, který byl dále odebrán ze sedačky pomocí nástroje Extrude (obr. č. 9.13).

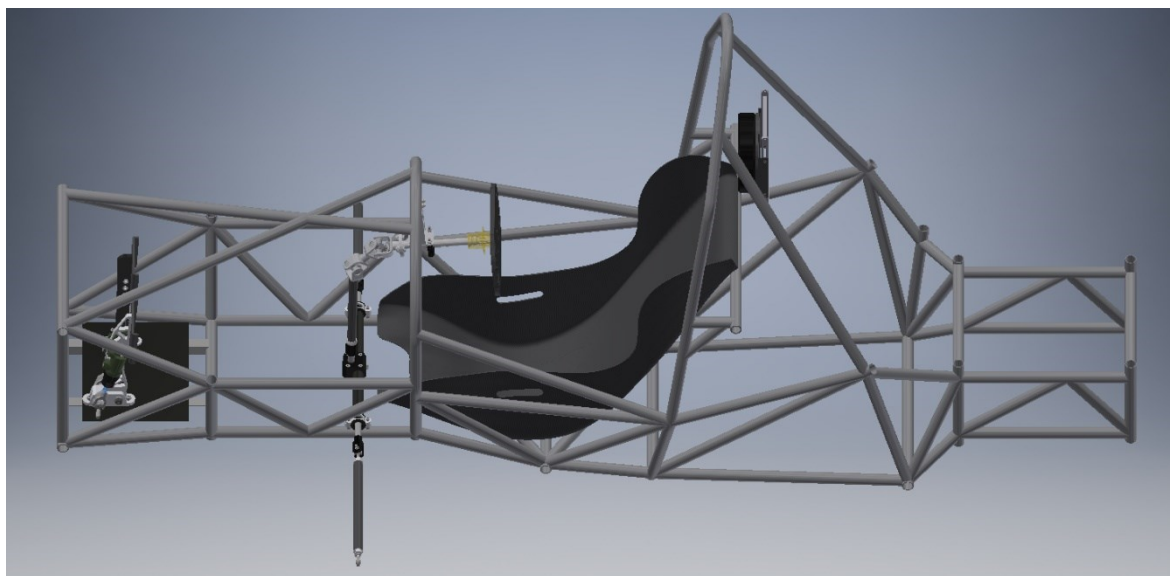


Obr. 9.13 – Tvorba děr pro pásy



Obr. 9.14 – Sedačka verze S02

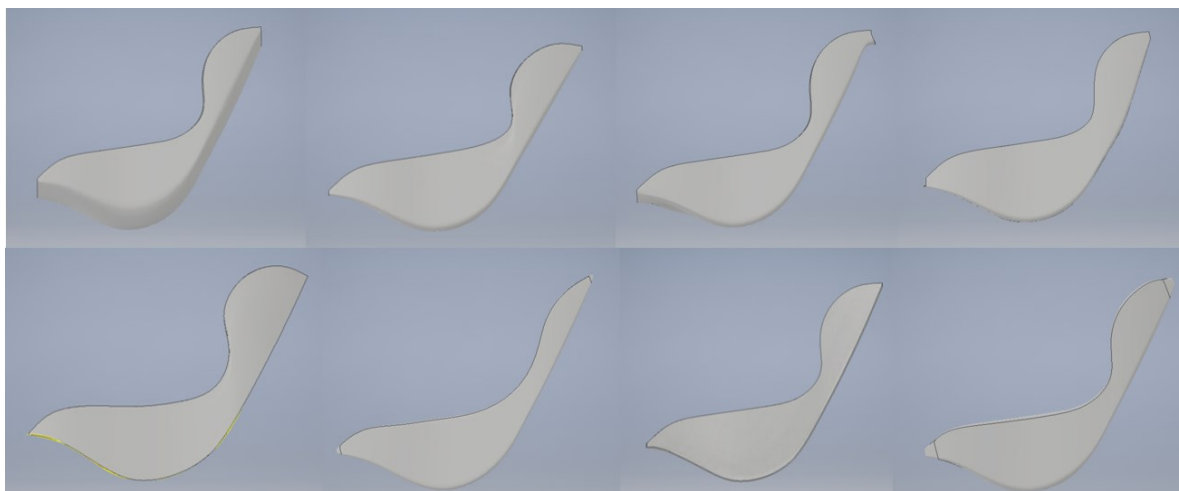
Na koncept sedačky verze S02 byla aplikována textura uhlíkového vlákna. Koncept vychází vstříc pravidlům SAE© a částečně řeší ergonomická úskalí sedačky



Obr. 9.15 – Umístění sedačky v rámu

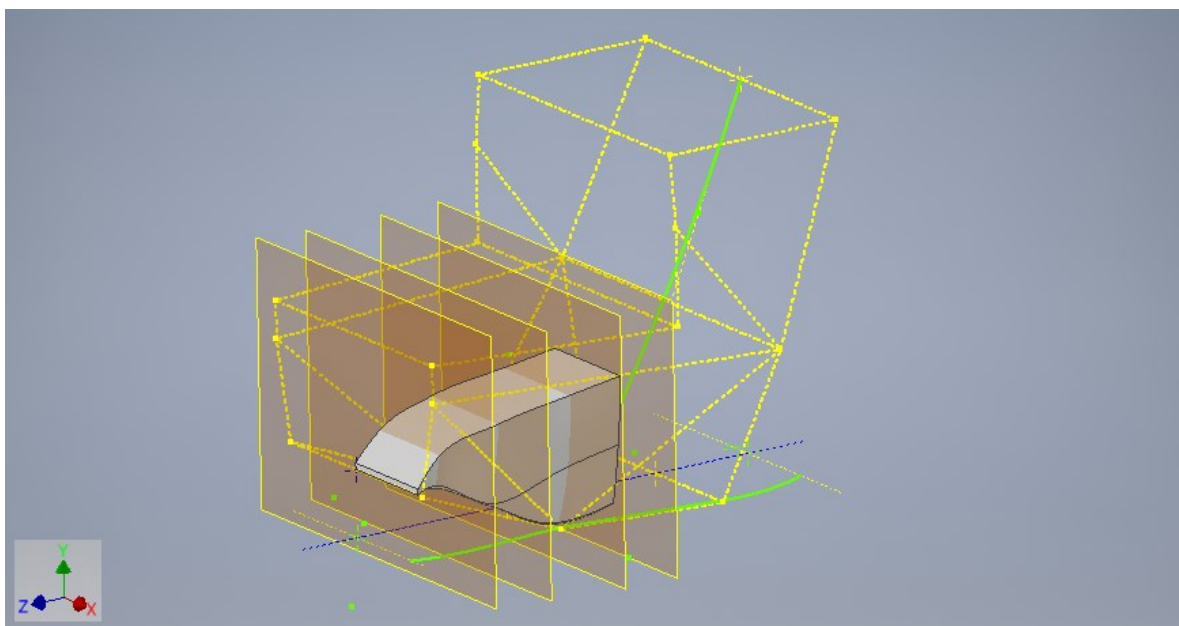
9.3. Ostatní verze

Na obr. č. 9.16 je možno vidět různá variantní řešení od kterých jsem upustil. Šlo o editaci verze S02 a také o zcela nové modely. Prováděl jsem změny v profilu sedačky, zkoušel jsem různé možnosti, jak se lépe dopracovat k požadovanému tvaru a hledal tak optimální řešení. Některé postupy nevedly k zdárnému konci, program nebyl schopen propojit plochy tak aby vznikla kontinuita tvaru, v jiném případě vznikali hrany o nulové tloušťce.



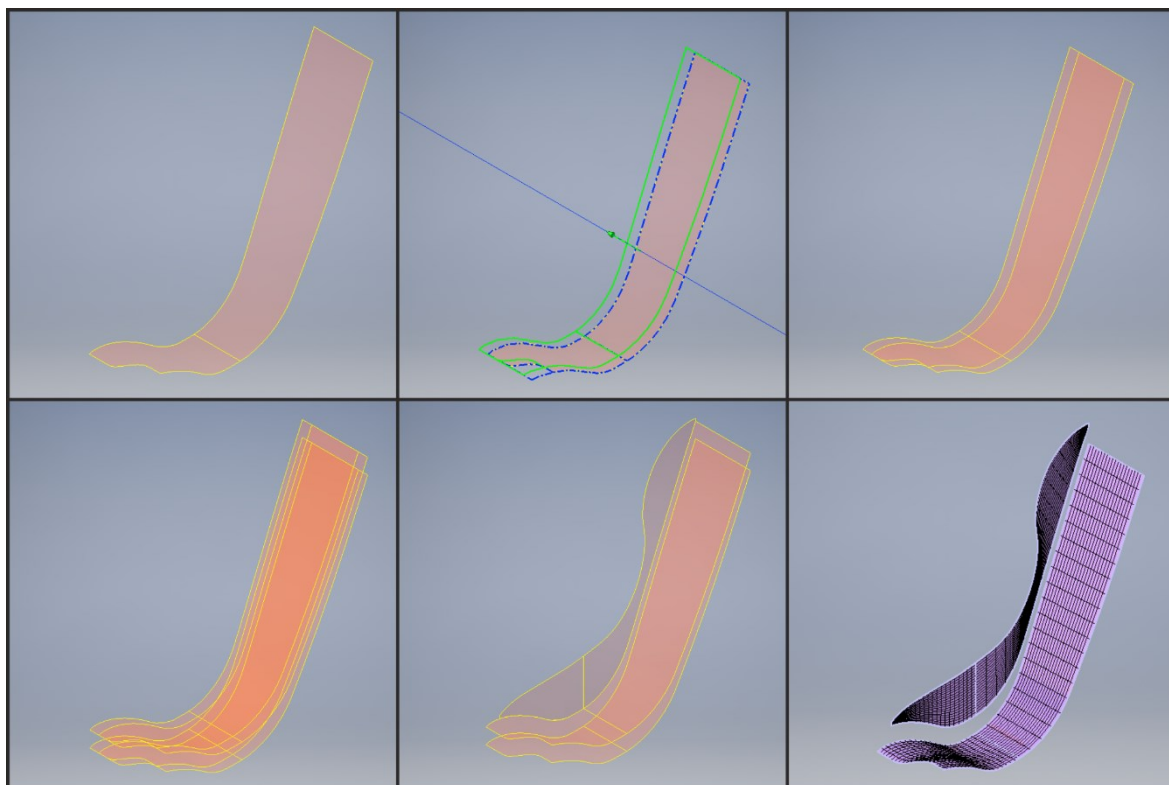
Obr. 9.16 – Ostatní verze sedaček

Na obr. č. 9.17 je znázorněna jedna z jiných možností vytváření požadovaného tvaru. Model prostoru pro sedačku vymezoval oblast pro její vznik a nástroj Loft postupně propojoval vytvořené profily v rovinách proti směru Z.

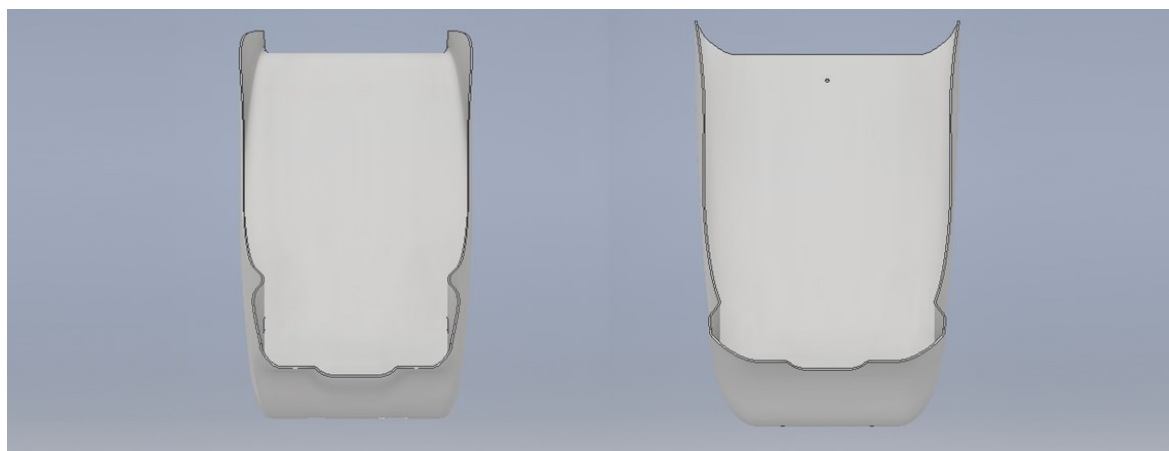


Obr. 9. 17 – Tvorba sedačky v rovinách

Nejllepší podobu získala verze S02 po rozšíření spodní části do maximálních rozměrů. Toho bylo dosaženo odsazením boční plochy pro podpory. Jako efektivní nástroj pro tento případ by se dalo považovat Obdélníkové pole, které je schopno nakopírovat vybranou entitu ve zvoleném směru. Tento nástroj jsem využil jak na spodní plochu pod pilotem, tak zároveň na plochu bočních podpor (obr. č. 9.18). Pilot by byl v předešlých verzích moc natěsno a zároveň rádius pod kterým boční podpory stoupali od podstavy byl poměrně malý. Na obr. 9.18 lze vidět porovnání předního profilu verze S02 a její editované verze.



Obr. 9.18 – Obdélníkové pole



Obr. 9.19 – Změna profilu

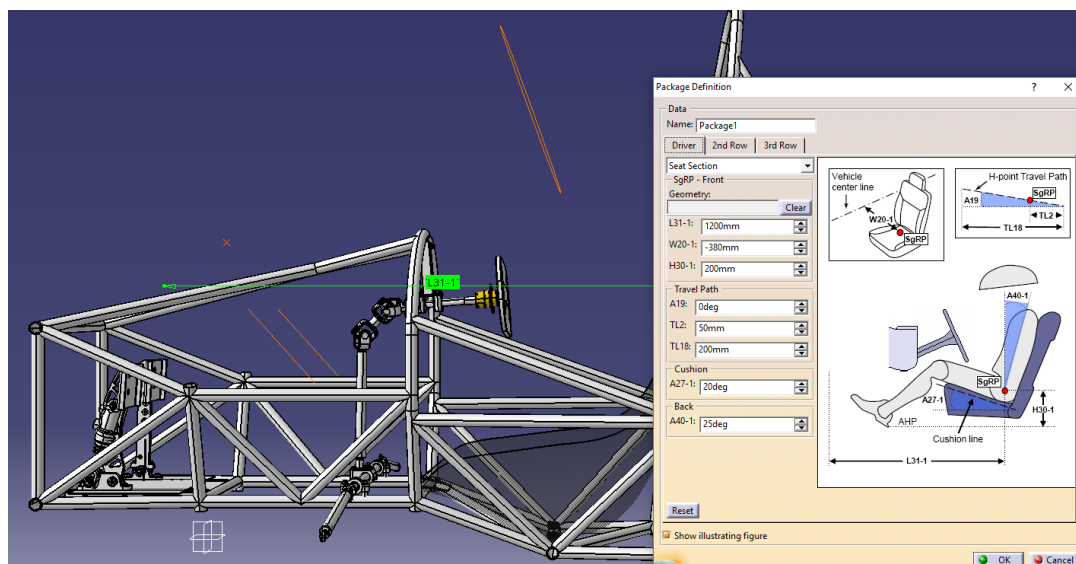
9.4. Human builder

V této fázi práce jsem již ovládal jednotlivé nástroje programu Autodesk Inventor 2018, měl jsem jasnou představu nad tvarem a byl jsem schopen vyřešit problémy jež se při tvorbě objevily. Zbývalo model zrealizovat, tak aby co nejlépe seděl na požadovaný profil pilota. Z pravidel SAE© vyplívá, že sedačka by měla být univerzální pro profil pilota mužské postavy 95. percentilu.

Abych dosáhl co největší přesnosti polohy pilota ve voze, požadovaných ergonomických vlastností sedačky a zároveň splnil pravidla SAE© využil jsem programu Catia V5R20. Tento program nabízí implementovanou sadu nástrojů Human builder. Jde o možnost vytvoření modelu člověka a jeho následné manipulaci s částmi těla tak, aby byl co nejpřesněji umístěn na sedačku do rámu formule. Touto metodou lze vysledovat:

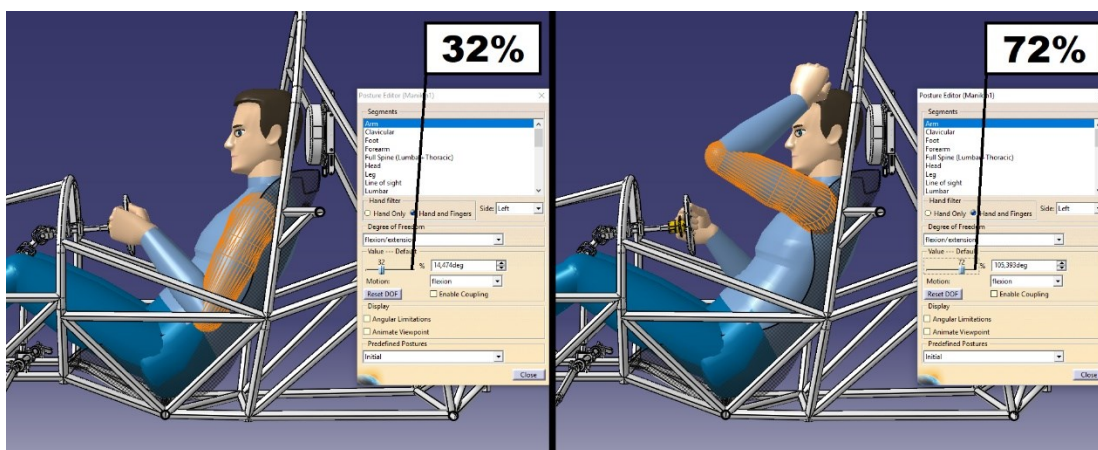
- Profil pilota pro tvorbu sedačky
- Polohu nohou vůči pedálům
- Úhel nohou pod koleny
- Pozici rukou na volantu a nutný prostor pro lokty
- Tvar a velikost podpor vůči pilotovi
- Polohu hlavy pilota

Nejdříve bylo nutno naimportovat data – rám a sedačku do nového projektu v Catii. Catia je poměrně všestranná a dokáže si poradit s řadou CAD formátů. V mém případě jsem využil formátu IGS. Následovalo vložení New Package – Vehicle Interior Dimensions. Tato sada slouží k nastavení polohy modelu člověka (manekýna) pro řízení automobilu. Sada nabízí široké spektrum nastavení od umístění manekýna ve voze až po polohu rukou na volantu a pozice nohou na pedálech. Podrobněji lze vidět na obr. č. 9.20.



Obr. 9.20 – Sada Vehicle Interior Dimensions

Nástroj jsem využil pro základní usazení manekýna do řídicí polohy. Pro přesnější umístění bylo však nutné manipulovat s jeho částí těla a dostat je tak do požadované polohy. Tím že jsem měl k dispozici model verze 02 byl jsem schopen umístit manekýna tak, aby následný model sedačky mohl mít co nejnižší pozici v rámu. Nástrojem Posture Editor je možno ohýbat částmi těla, ve většině případů i více směry. Ohyb je vyobrazen v procentech. Příklad je uveden na obr. č. 9.21.

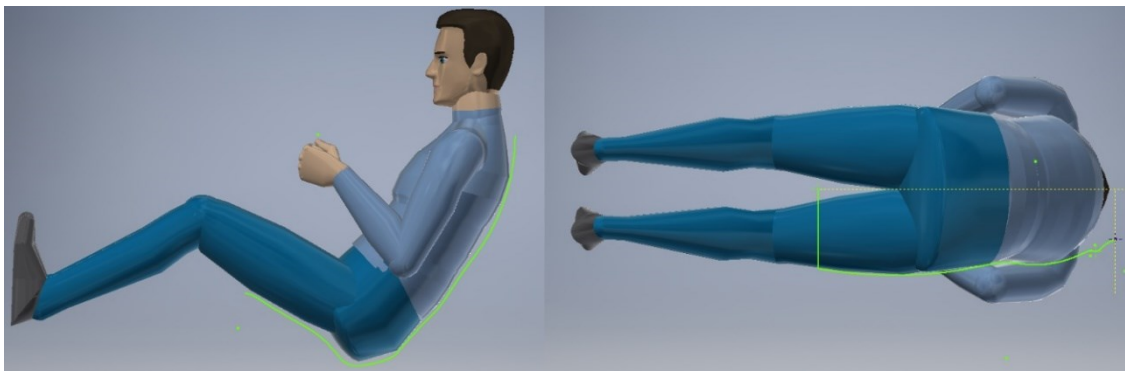


Obr. 9.21 – Manipulace s částí těla manekýna

Následně bylo nutno manekýna dostat z Catie do Inventoru. Ne všechny formáty tento export podporují. Nakonec jsem využil exportu do formátu CRG a manekýna vložil do sestavy rámu v Inventoru.

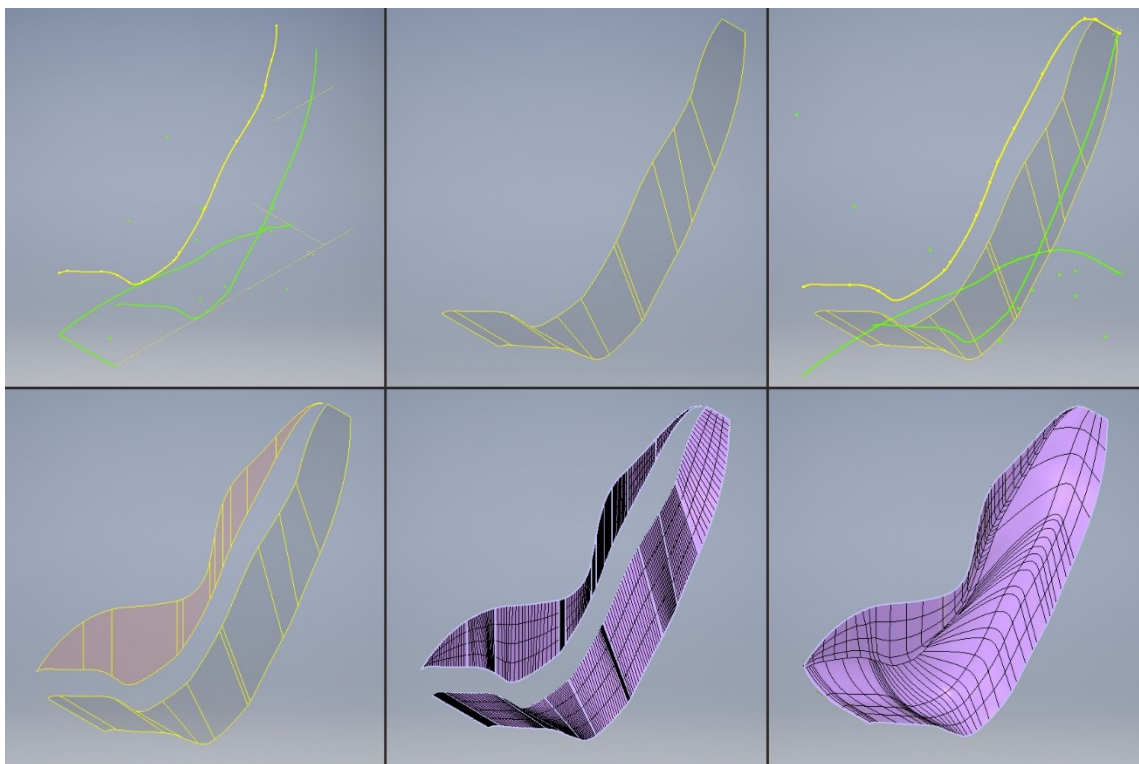
9.5. Verze S03

Díky přípravě human builderu v Catii a následném importování do Inventoru bylo možno vytvořit skici (obr. č. 9.22) z nárysu a půdorysu tak aby co nejlépe kopírovali tvar manekýna.



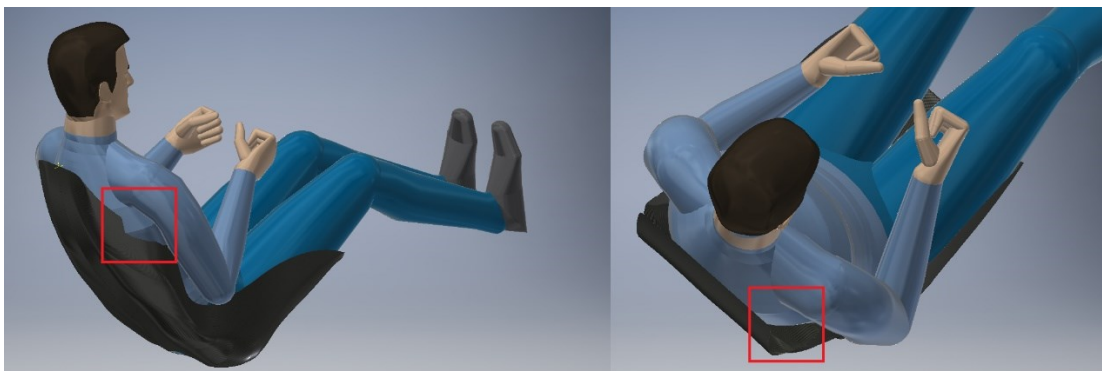
Obr. 9.22 – Tvorba skic za využití manekýna z Human builderu

Jejich kombinací vznikla 3D křivka, nástrojem Šablonovat plocha, která popisovala dotykovou část pod pilotem. Obdobně vznikla plocha pro boční podpory sedačky. Aby navázání plochy pod pilotem s plochou bočních podpor bylo plynule a zaoblené využil jsem opět nástroje Obdélníkové pole. Část plochy přesahoval hranici symetrie sedačky, proto byla oříznuta. Následovalo převedení ploch nástrojem tvar a postupné slučování hran. Zbývalo součást zrcadlit, tím dostat celý tvar sedačky, přidat tloušťku a vytvořit otvory pro boční a spodní pásy.



Obr. 9.23 – Část modelování verze S03

I přesto, že skici kopírovali profil manekýna, vznikaly problémy, kdy kombinace plochy bočních podpor a plochou pod pilotem vytvářela tvar s kterým manekýn přicházel do kolize nebo v opačném případě vznikalo příliš volného prostoru mezi manekýnem a sedačkou (obr. č. 9.24).



Obr. 9.24 – Problémy s kolizí a volným prostorem

Postupným editováním jsem se dopracoval do konečné podoby, kde výsledná sedačka manekýnovi, muži odpovídajícímu 95 percentilu, vyhovuje a tím splňuje požadavek ze strany pravidel SAE©. Finální podobu sedačky lze vidět na obr. č. 9.25.



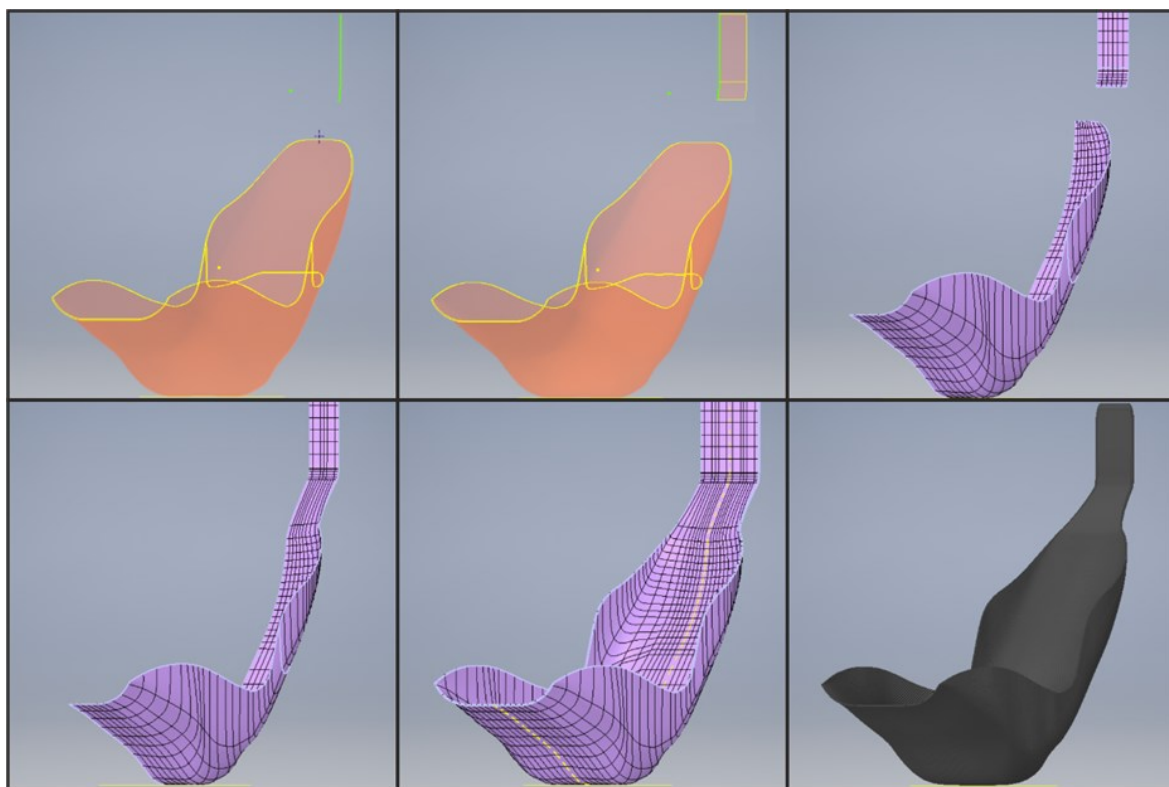
Obr. 9.25 – Sedačka verze S03

9.6. Verze S04

V této verzi jsem se zaměřil na opěrku hlavy. Současná opěrka od týmu Formula Student VŠB-TU Ostrava je dobře navržena a výškově nastavitelná. Aby ovšem byla pevně umístěna na patřičné pozici vyžaduje přídavnou konstrukci k rámu. Touto variantou sedačky jsem chtěl docílit k jejímu odstranění. Před zahájením vytváření nového modelu bylo třeba projít pravidla SAE©, z kterých vyplívá:

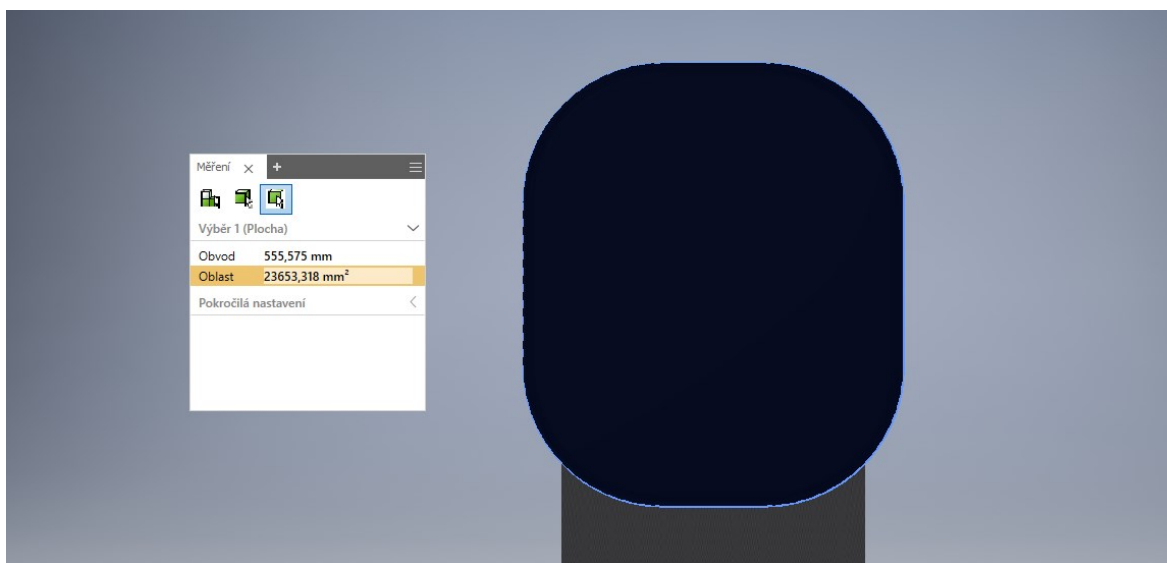
- Opěrka v bokoryse je ve vertikální nebo téměř vertikální poloze
- Minimální tloušťka absorpčního materiálu je 38 mm
- Minimální šířka opěrky je 150 mm
- Minimální plocha opěrky je 235 cm^2
- Minimální výška opěrky je 175 mm a je výškově nastavitelná, pokud ne její minimální výška musí být 280 mm
- Opěrka je vzdálena nejvýše 25 mm od zadní části helmy
- Opěrka musí být schopna zvládnout působení síly 890 N proti směru jízdy

Modelováním vznikla plocha, která byla navázána na verzi S03. Využitím nástroje Extrahovat smyčku v sadě Opravení geometrie jsem získal povrchy verze S03. Tím získala nová plocha sedačky lepší síť při převodu na volný tvar. Část tvorby je znázorněna v krocích na obr. č. 26.



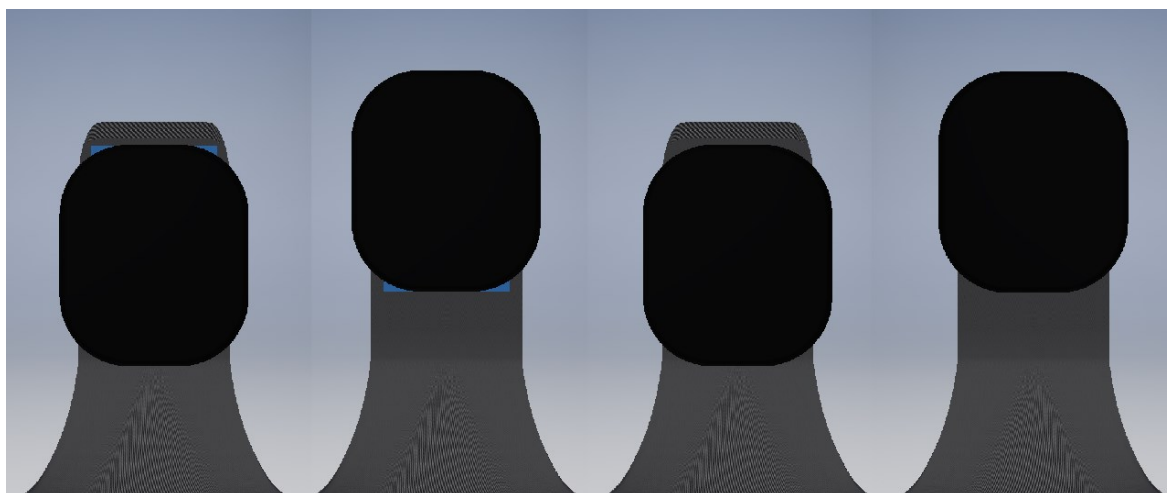
Obr. 9.26 – Tvorba Verze 04

Na svislé části nově vzniklé plochy bylo potřeba vytvořit opěrný polštář. Nově navržená opěrka má rozměry 175 x 150 x 38 mm a její vodorovné hrany byly zaobleny pod rádiusem 40 mm. Obvodové hrany byli zaobleny pod rádiusem 55 mm. Doteková plocha tak činí $236,5 \text{ mm}^2$, což splňuje pravidla. Změření plochy je možno vidět na obr. č. 9.27.



Obr. 9.27 – Změření velikosti plochy nové opěrky

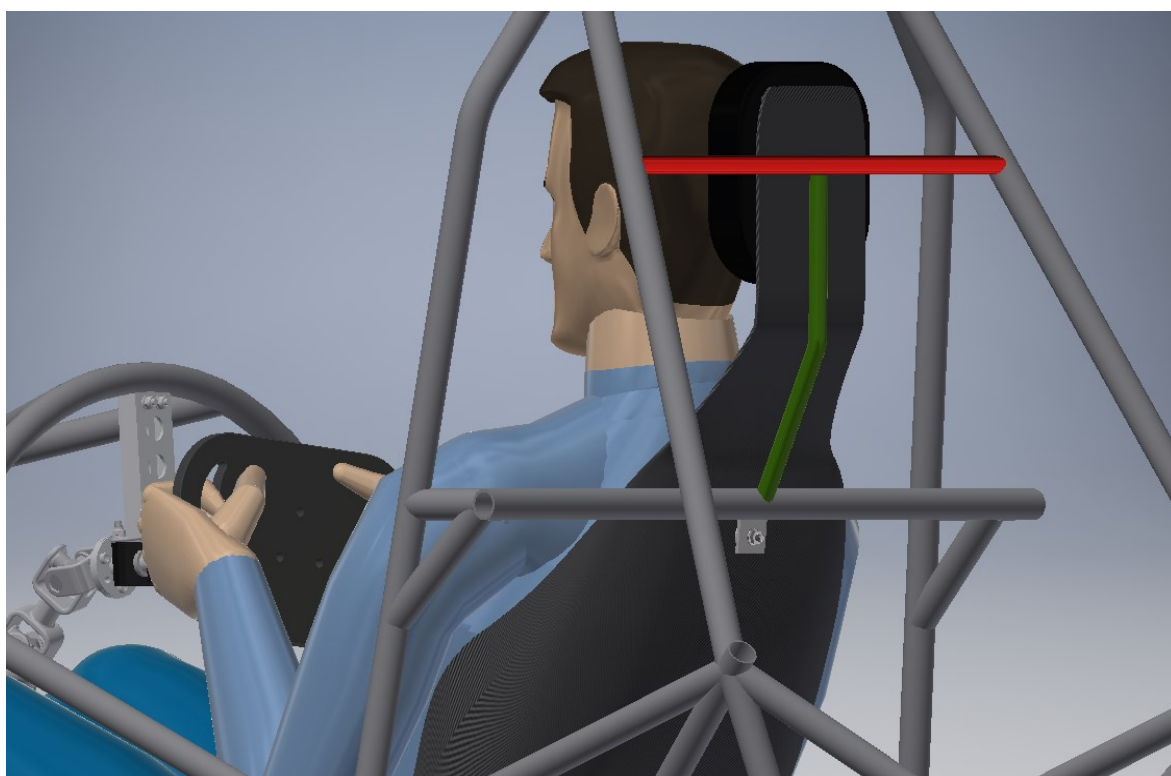
Následně bylo nutno zajistit upevnění opěrného polštáře k nově vzniklé ploše sedačky. Praktickým řešením se ukázalo využití suchého zipu. Háčková plocha byla připevněna k ploše sedačky. Její přichycení je řešeno adhezivem, vhodným pro spojení textilu a uhlíkového vlákna. Opačná strana suchého zipu může být přišita k opěrnému polštáři. Toto uchycení přináší řadu výhod – nízká hmotnost, snadná montáž / demontáž. Další výhodou je polohovatelnost opěrky pro každého pilota spadajícího do 95. percentilu mužské postavy. Minimální a maximální polohu lze vidět na obr. č. 9.28.



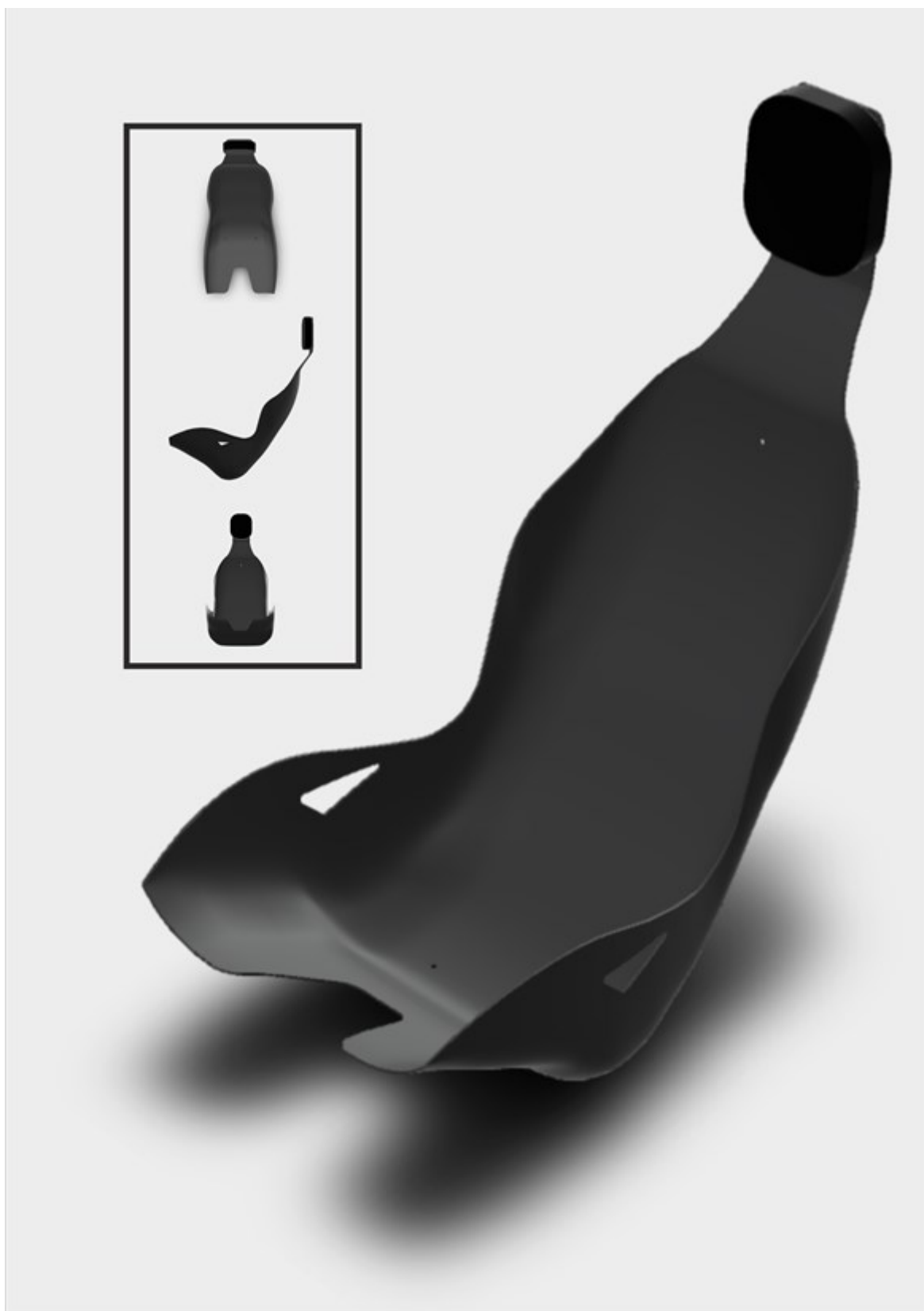
Obr. 9.28 – Polohovatelnost opěrky a detail suchého zipu

Detail z pohledu estetiky byl zaměřen na rozměry suchého zipu umístěného na ploše sedačky. Základní rozměr plochy suchého zipu je 115 x 100 mm. Při umístění opěrky do maximální nebo minimální polohy části suchého zipu přesahují obrys opěrného polštáře. Tento nedostatek je vyřešen zastřížením rohů suchého zipu na opěrci zad. Zmenšení plochy suchého zipu, tím tedy snížení pevnosti spojení je v tomto případě zanedbatelné, neboť spoj zůstává nadále dostatečně pevný. Detail je možno vidět na obr. 9.28. vlevo před úpravou, vpravo po úpravě.

Poslední částí, kterou bylo nutno v této verzi vyřešit, bylo zajištění pevnosti opěrné části sedačky. V případě, kdy pilot působí nárazovou silou na opěrnou část sedačky by mohlo dojít k jejímu zlomení. Z tohoto důvodu byl navržen podpůrný prvek, který tuto sílu přenese, a opěrná část sedačky tak zůstane zachována. V úvahu připadala dvě řešení. Prvním (zelené) bylo umístění podpůrného prvku na trubku rámu za sedačkou. Druhým (červené) bylo umístění podpůrného prvku byla mezi horní trubky rámu. Obě varianty podpůrných prvků lze vidět na obr. č. 9.32. V obou případech je spojení navrženo jako svar. Pro výsledné řešení bylo nutno provést simulaci působení sil MKP. Finální podobu verze S04 je možno vidět na obr. č. 9.29.



Obr. 9.29 – Variant podpůrných prvků

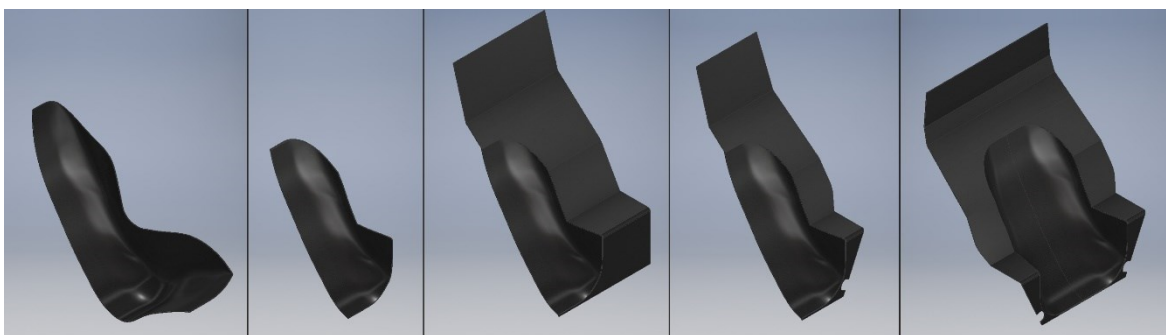


Obr. 9.30 – Sedačka verze S04

9.7. Verze F05

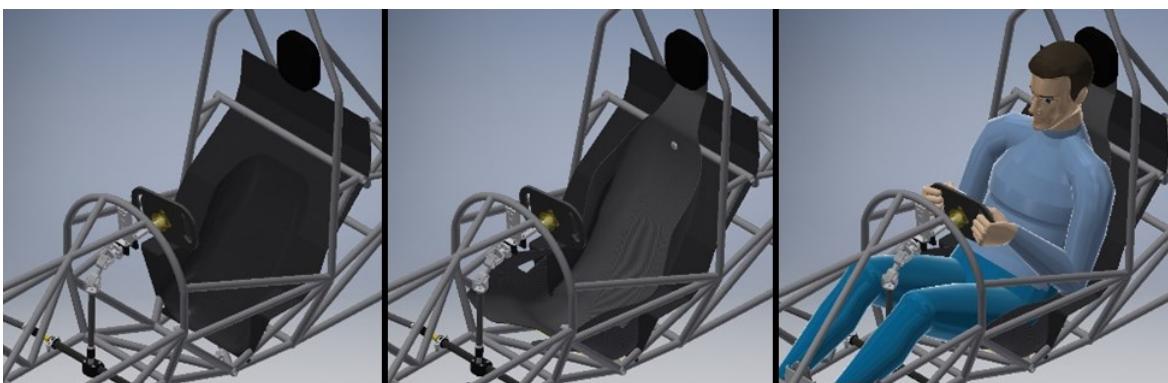
V této verzi jsem uvažoval nad propojením firewallu se sedačkou. Nakonec jsem se rozhodl nevytvářet další verzi sedačky ale firewall samotný. Smyslem bylo co nejvíc se přiblížit k tvaru navrhované sedačky a tím získat více volného prostoru za sedačkou i podél ní. Tento prostor může být pak využit pro umístění baterie, nádoby pro palivovou kapalinu nebo jiné části pohonného systému vozu.

K tvorbě bylo využito modelu sedačky verze S03. Vytvořením nového tělesa a následné kombinace se sedačkou vznikl průnik ploch (obr. č. 9.31.). K tomuto průniku ploch byly následně přidávány další plochy za využití nástrojů přidání a odebrání vysunutí. Finální podobu bylo nutno oříznout na profil rámu tak, aby se sedačka nedostávala do přímého kontaktu s pohonnou částí formule.



Obr. 9.31 – Modelování firewallu

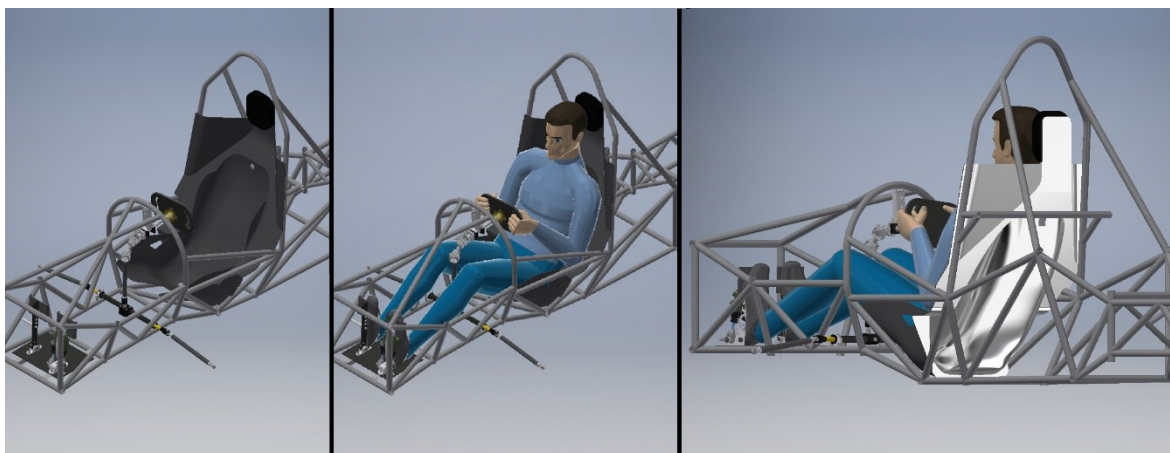
Výsledný model byl umístěn do rámu. Firewall bylo nutno upevnit, to je řešeno v následující kapitole.



Obr. 9.32 – Umístění firewallu do rámu

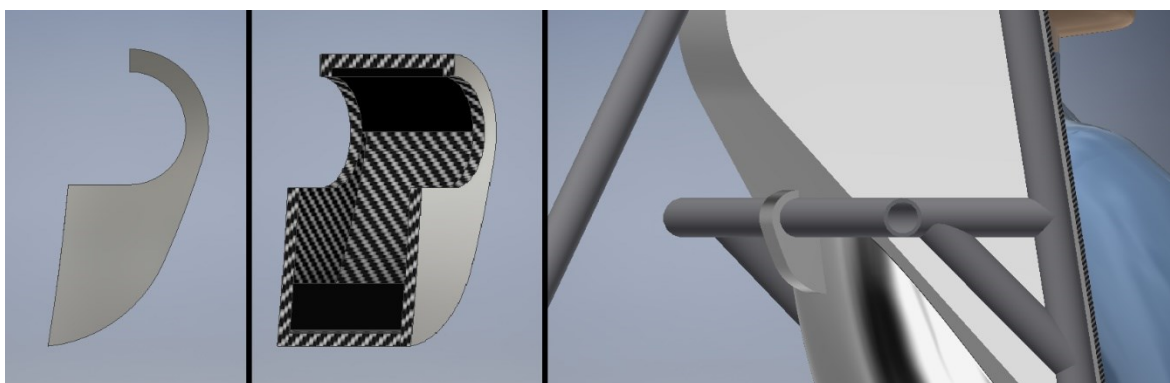
9.8. Verze SF06

Poslední verzí, která byla této práci vytvořena byla verze SF06. Jedná se o kombinaci firewallu a sedačky v jednom. Verze S04 byla doplněna o prvky navrhovaného firewallu verze F05. Odpadá tedy nutnost přídavného firewallu za sedačkou. Stejně jako verze F05 přináší možnost využití prostoru podél sedačky. Materiál sedačky zůstává stejný a na povrch zadní stěny, která je oddělena firewallem, je přidána vrstva hliníkové fólie pro odraz tepla. Detail verze SF06 lze vidět na následující straně na obr. č. 9.35.

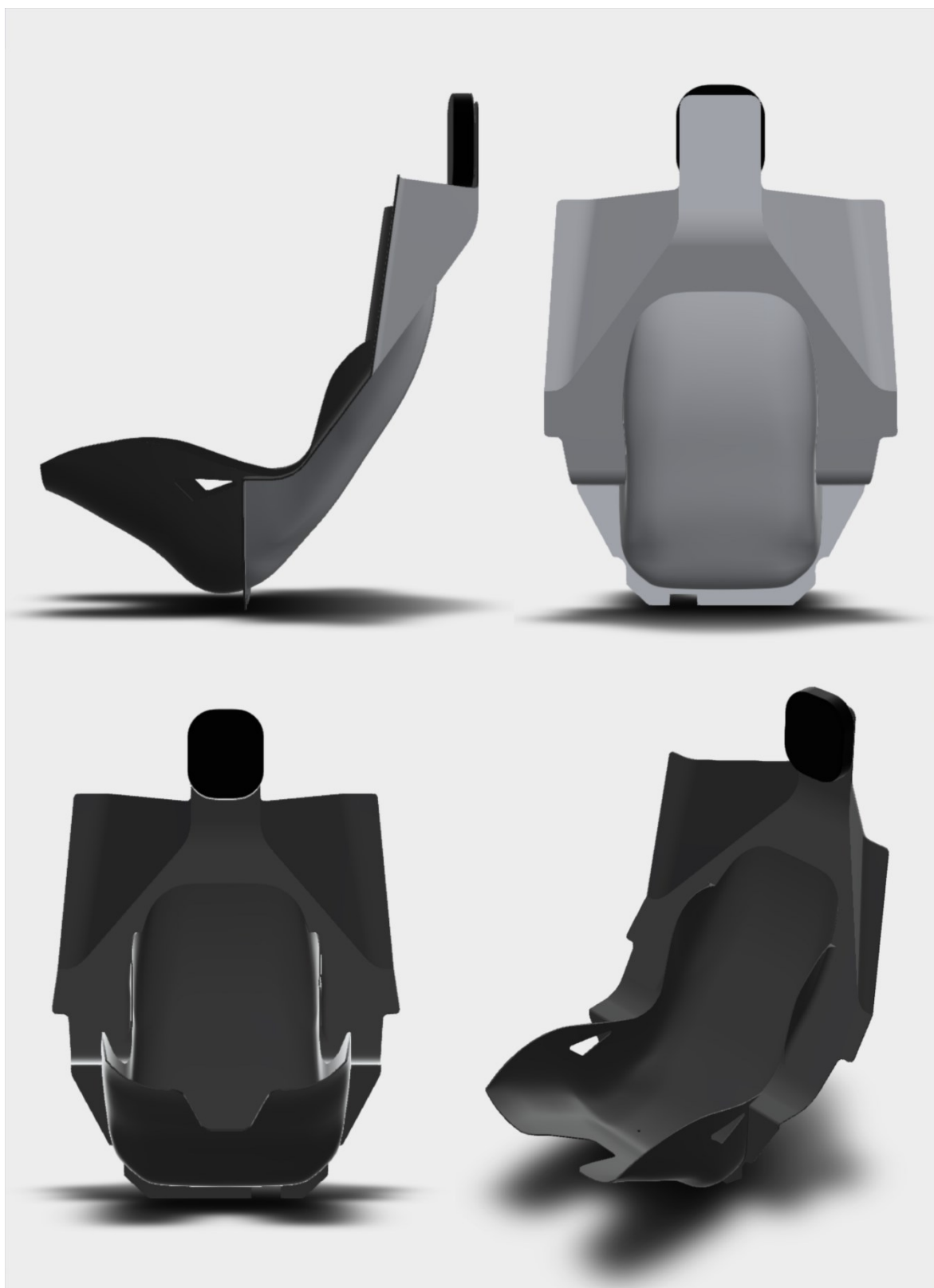


Obr. 9.33 – Verze SF06 v rámu

Modelování probíhalo obdobně jako u verze F05. Oproti verzi F05 je verze SF06 lépe situována pro rám formule. Aby nedocházelo k porušení pravidel SAE© (kovové šroubové spojení vede až k pilotovi a při vyšších teplotách by mohlo být příliš žhavé), byl vytvořen přídavný prvek, který chrání uchycení sedačky. Jeho připevnění je řešeno suchým zipem k trubce rámu a k sedačce. Na vnějším povrchu je aplikována vrstva hliníkové fólie.



Obr. 9.34 – Ochranný prvek uchycení



Obr. 9.35 – Sedačka s firewallem verze SF06

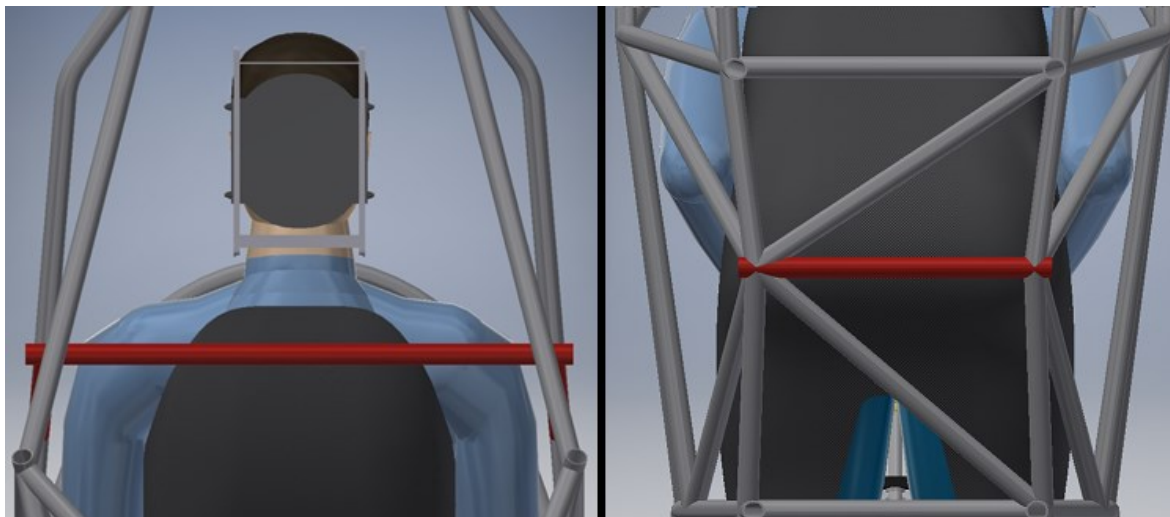
10. Uchycení sedačky k rámu formule

Další nezbytnou částí této práce bylo vytvoření konstrukčního řešení uchycení sedačky k rámu formule. Sedačka musí být na pevně spojena s formulí, a to takovým způsobem, aby nedošlo k jejímu uvolnění. Spojení by mělo být demontovatelné a předchází mu pravidla SAE©. Nároky jsou v tomto případě kladeny na šrouby, které musí být minimálně pevnostní třídy 8.8.

V osobních automobilech se využívá mechanismu, kde jedna část uchycení je umístěna na podlaze vozu a druhá na spodní, případně boční části sedačky. Po jejich spojení je možno se sedačkou manipulovat tak, aby řidič / spolujezdec měl dostatek prostoru pro nohy. Vzhledem na nároky co nejnížší hmotnosti se tato varianta řešení vylučuje.

Optimálním řešením se nabízí přišroubování sedačky v několika bodech k rámu. Avšak rám nemůže být narušen, proto je nutno k němu vytvořit konstrukční prvky.

Prvním bodem, kde bylo vytvořeno uchycení, se stalo místo horní oblasti opěrky zad. Sedačka je ve formuli umístěna tak, že se její zadní stěna opírá o tyč rámu (obr.10.1 vlevo). Pod touto tyčí jsem vytvořil konstrukční prvek, kterým prochází šroubové spojení sedačky k rámu. Další dva body lze nalézt v oblasti sedáku. Obdobně jako v prvním bodě byli vytvořeny konstrukční prvky, které jsou spojeny s tyčí pod sedačkou. (obr. 10.1 vpravo).

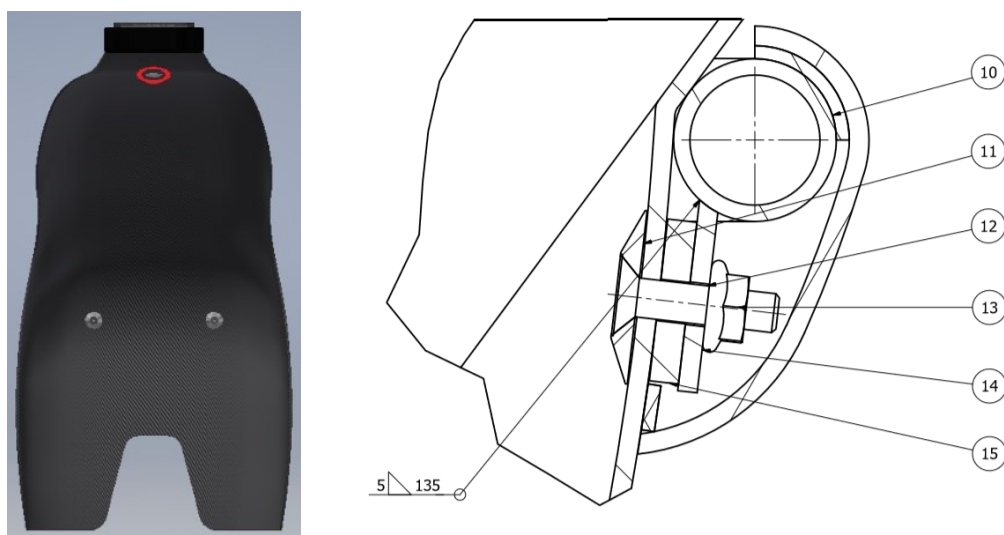


Obr. 10.1 – Zadní a spodní tyč rámu

Uchycení horní části sedačky je složeno z následujících součástí (obr. č. 37):

- Podložka se zápusťnou hlavou (11)
- Horní úchytová součást (14)
- Šroub – CSN 4558 – M6 x 25:1 (12)
- Matice samojistící – M6 DIN 6923 (13)
- Podložka distanční – D25, T4,5 mm (15)

Šroub splňuje pravidla SAE©, podložka se zápusťnou hlavou obklopuje hlavu šroubu a zvětšuje tak plochu, kterou působí tlakové napětí na sedačku při jeho utáhnutí. Tím je zamezeno možné promáčknutí sedačky při příliš těsném dotažení. Distanční podložka a podložka pod šroubem také rozkládá působící napětí. Úchytová součást je k trubce svařena metodou MAG. Samojistící matice byla zvolena pro zvýšení bezpečnosti spoje.

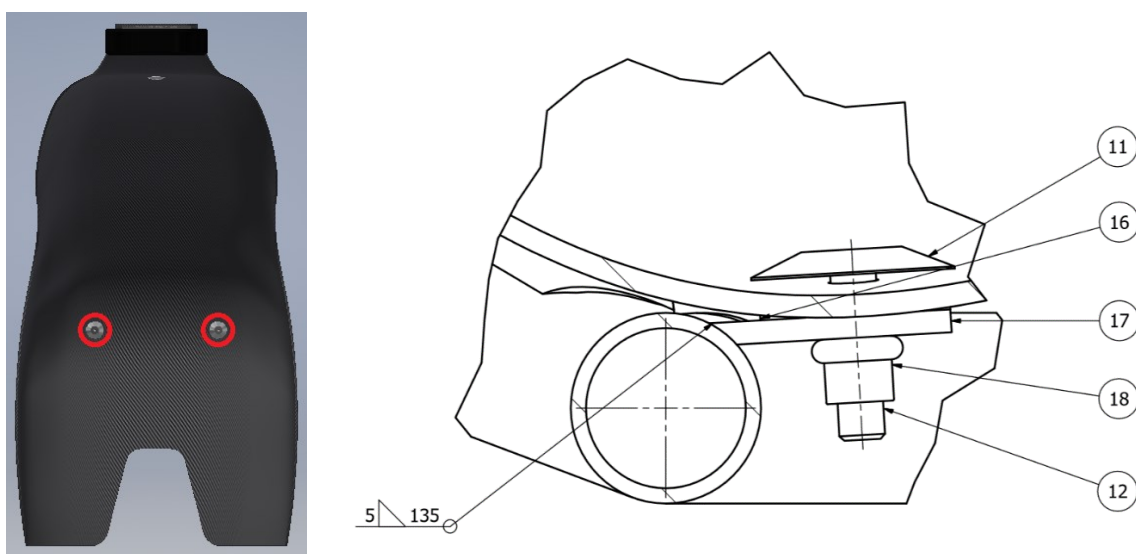


Obr. 10.2 – Horní uchycení

Uchycení spodní části sedačky bylo navrženo obdobně jako u horní části:

- Podložka se zápusťnou hlavou (11)
- Podložka distanční – D25, T3,9 mm s výřezem pro hlavu matice (16)
- Šroub – CSN 4558 – M6 x 25:1 (12)
- Matice nýtovací, s kruhovou hlavou, rýhovaná, otevřená – nerezová ocel (18)
- Dolní úchyťová součást (17)

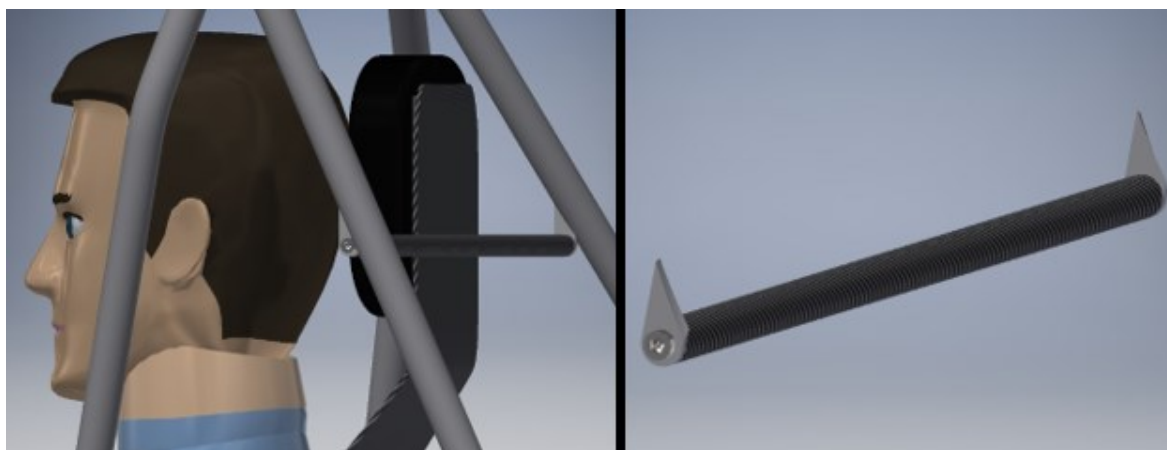
L profil dodává vhodnou vodorovnou plochu k smontování sedačky s rámem. Vzhledem k omezenému přístupu k spodnímu rámu formule je uchycení v této oblasti řešeno nýtovací maticí. Sdfs matice dovoluje ...



Obr. 10.3 – Spodní uchycení uchycení

Ze zkušeností týmu za použití jejich současné sedačky by se dalo tvrdit, že toto uchycení je dostatečně pevné pro udržení sedačky na své pozici.

Dále bylo nutno vytvořit konstrukční prvek, který by přenášel síly působené na opěrku hlavy. Současné řešení uchycení opěrky týmu Formula Student VŠB-TU Ostrava lze vidět na obr. č. 10.5. Zvolil jsem trubku stejného profilu jako u uchycení sedačky. Délka trubky odpovídá rozmezí rámu formule a její konce obsahují hliníkovou vložku se závitem. Na rámu byly vytvořeny úchyty, kterými je následně trubka upevněna šrouby. Úchyty jsou k rámu svařeny.



Obr. 10.5 – Konstrukční prvek pro opěrku

Uchycení firewallu bylo řešeno úvahou. Na firewall nepůsobí žádná zátěž z čehož vyplývá, že uchycení má zaručovat pouze jeho pevné umístění ve voze. Vzhledem k jeho rozměrům se jako optimální řešení nabízí šroubové spojení s rámem formule. Na rámu by opět museli být vytvořeny konstrukční prvky – oka, ke kterým by bylo možno firewall přišroubovat. Oproti uchycení sedačky je v tomto případě možno spoj odlehčit a volit šrouby o menším průměru, vynechat podložku se zápusťnou hlavou a podobně.

11. MKP

Metoda konečných prvků (MKP) je numerická metoda sloužící k simulaci průběhů napětí, deformací, vlastních frekvencí, proudění tepla, jevů elektromagnetismu, proudění tekutin atd. na vytvořeném fyzikálním modelu. Její princip spočívá v diskretizaci spojitého kontinua do určitého (konečného) počtu prvků, přičemž zjišťované parametry jsou určovány v jednotlivých uzlových bodech. MKP je užívána především pro kontrolu již navržených zařízení, nebo pro stanovení kritického (nejvíce namáhaného) místa konstrukce. Ačkoliv jsou principy této metody známy již delší dobu, k jejímu masovému využití došlo teprve s nástupem moderní výpočetní techniky. [19]

11.1. Nastavení pro simulaci

Pro využití MKP jsem opět použil program Autodesk Inventor 2018, který má tento nástroj implementovaný. Pro samotnou simulaci je nejdůležitější nastavit hlavní parametry:

Jako materiál sedačky byl zvolen karbon neboli uhlíkové vlákno pro nízkou hmotnost a dostatečnou pevnost a pružnost. Fyzikální vlastnosti materiálu se ale liší dle toho, kolik je použito vrstev, jak je ohnutý, z kolika vláken je složen a jak jsou vůbec tato vlákna propletena. Výsledky simulace tedy můžeme brát pouze jako přibližné.

Na šrouby byla aplikována pevná vazba, která zamezuje pohybu všemi směry. Mezi uchycením a sedačkou byli zavedeny dotyky.

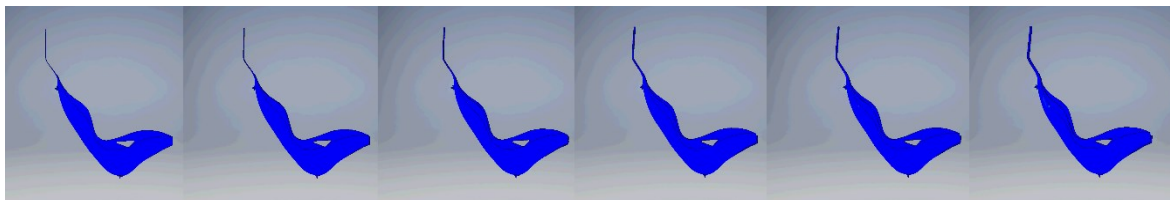
Sít' zůstala ve svém základním nastavení s průměrnou velikostí prvku 0,01. Pro tuto simulaci je tato hodnota dostatečná.

Jako zatížení je zvolena maximální síla, která by mohla na sedačku při jízdě působit. Namáhání v zatáčkách potřebujeme znát bočně působící sílu. Výpočet maximální boční síly síly:

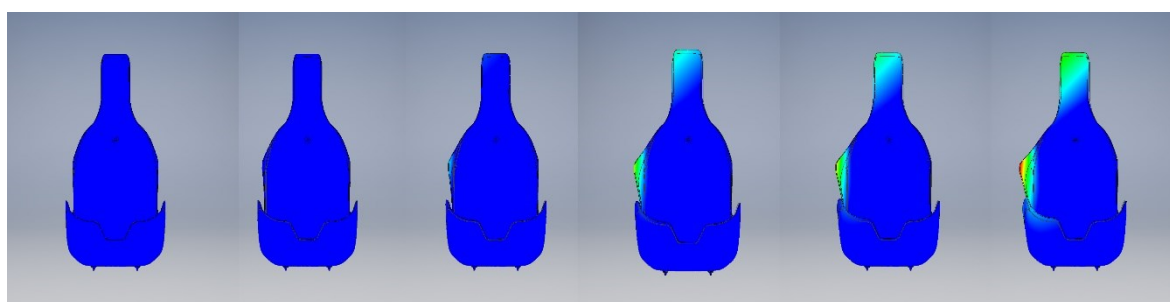
- Hmotnost pilota $m = 77 \text{ kg}$
- Gravitační přetížení $g = 9,87 \text{ m/s}^2$
- Maximální síla $F = m \cdot 2,5 \cdot g = 77 \cdot 2 \cdot 9,87 = 1900 \text{ N}$

11.2. MKP sedačka

Pro přiblížení reality byla provedena MKP simulace. Dle nastavení lze vidět že při působení síly je napětí na sedačce nepřekračuje mez pružnosti materiálu. Posuv je v nejkritičtějším místě 2,78 mm a to v oblatsi horních podpor sedačky a má tendenci ohýbat částí pro opěrku hlavy.



Obr. 11.1 – Napětí na sedačce

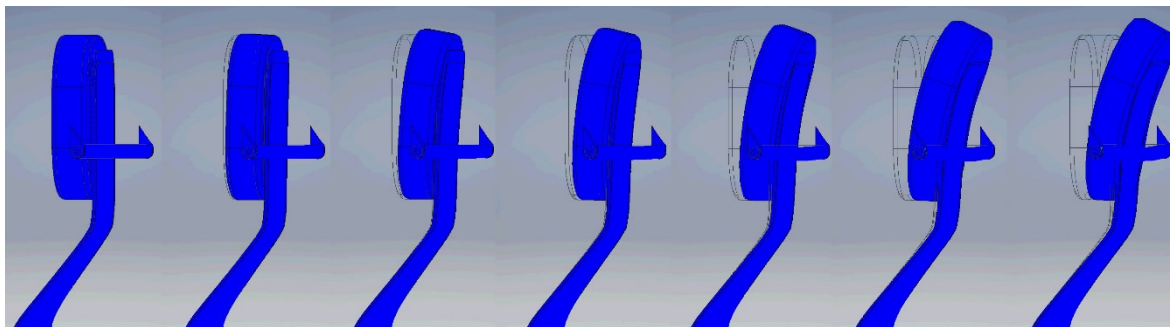


Obr. 11.2 – Posuv na sedačce

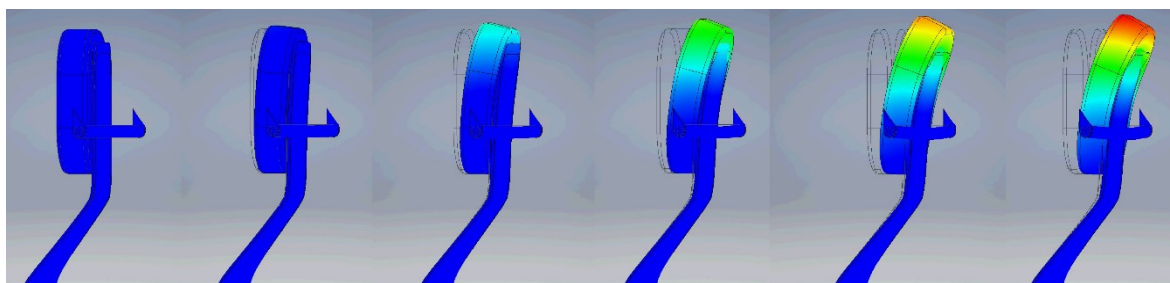
Z výsledků vyplývá, že by sedačka měla být schopna vydržet dynamická namáhání. V případě, že by se v praxi ukázalo, že sedačka není dostatečně pevná v oblasti horních podpor, museli by být zavedeny podpůrné konzole, o které by se sedačka mohla zapřít proti směru působících sil.

11.3. MKP opěrka

Pro zjištění, zdali opěrka hlavy vyhovuje, byla opět provedena MKP simulace. Z pravidel SAE© vyplývá, že opěrka musí být schopna zvládnout působení síly proti směru jízdy o velikost 890 N. Tato síla tedy byla nastavena do simulace.



Obr. 11.3 – Napětí na opěrce



Obr. 11.4 – Posuv na opěrce

Na výsledcích lze vidět že opěrka zvládá ustát působení síly. Největší posuv je na samotném opěrném polštáři, který část síly pohlcuje.

Vzhledem k pozitivnímu výsledku MKP pro navrhovanou opěrku je možno porovnat toto řešení s řešením týmu Student Formula VŠB-TU Ostrava. Není až tak podstatné, které z těchto řešení je pevnější, neboť jsou obě dostatečně pevná. Značný význam však má hmotnost jednotlivého provedení. Budeme-li brát opěrku s konstrukcí jako celek, u původního řešení se dostáváme k přibližné hmotnosti 0,53 kg. V případě navrhovaného řešení je přibližná hmotnost 0,26 kg. Z toho vyplývá, že tento koncept může snížit hmotnost o 0,27kg.

12. Výroba

Tato kapitola pojednává o způsobu, jakým by bylo možno sedačku vyrobit. Jednu z metod výroby aplikoval i tým Student Formula VŠB-TU Ostrava. Kromě sedačky takto vytvářeli i jiné části, které byli následně na formuli použity. V první řadě je nutno mít formu, které předchází předem vytvořený 3D model. Formu je například možno nechat vyrobit na zakázku u firem jež se věnují zpracování umělého dřeva. Původní verze S01 byla naceněna na 16 000 Kč. Jelikož ostatní verze mají větší rozměry, dalo by se předpokládat že jejich cena poroste. Na formu je nutno nanést karbon, který se používá ve vrstvách. Cena jedné vrstvy s gramáží 160 g/m² se pohybuje okolo 350 Kč za 1 m². Jednotlivé vrstvy se prokládají pryskyřicí, která je válečkem vtlačována do materiálu. Počet použitých vrstev je závislý na typu vyráběné části. Pro sedačku bylo optimalizováno množství 5-ti vrstev. Pro dosažení vzhledově hezčího povrchu se na stranu vrstvy, která bude povrchová přidá fólie.



Obr. 12.1 – Nanášení pryskyřice na vrstvy materiálu

Ve chvíli kdy jsou vrstvy naneseny je nutno formu přesunout do vakua. Nejjednodušším řešením, jak vytvořit vakuum, je umístit formu do plastového obalu, z kterého je následně odsán vzduch. Po několika hodinách je součást vytvrzena. Posledním krokem je vyklepnutí již hotového výrobku z formy.



Obr. 12.2 – Vakuum



Obr. 12.3 – Výrobek

13. Designové a bezpečnostní prvky

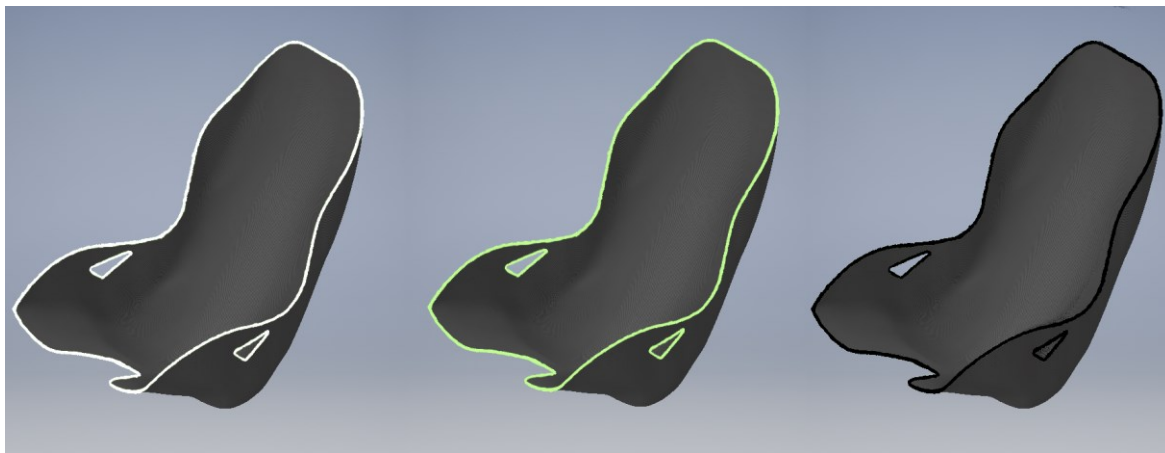
Aby bylo se sedačkou možno lépe manipulovat a zároveň aby nepůsobila nebezpečně bylo nutno zbavit se jejích ostrých hrany. Sedačka tak bude příjemnější k manipulaci a bezpečnější k použití. Pro odstranění hran jsem přišel s řešením, které zároveň zvýrazňuje tvar sedačky. Jde o gumové vedení podél dvojice hran sedačky. Hrany jsou do něj zapuštěny tudíž nemůže dojít k jejich kontaktu s pilotem nebo obsluhou při montáži. Z barevného spektra, které je použito na formuli, vyplynulo několik možností pro volbu barvy – obr. č. 38. Odstín zelené je poměrně atypický a není jisté, zda by mohl být běžně k dostání. Při použití bílé barvy by časem mohli být více vidět známky opotřebování. Ideální volbou je tedy v tomto případě barva černá.



Obr. 13.1 – Spektrum barev formule

Po konzultaci s týmem jsem zjistil že volili stejné řešení, konkrétní variantou byla TS® HRANA od firmy Novato. Dostupná pouze v černé barvě.

TS® HRANA se používá k ochraně přímých a tvarovaných hran plechů, desek a tabulí z kovů, skla, dřeva, plastů apod. Na vnitřní ploše je opatřena vrstvou tavného lepidla, které se po instalaci na chráněnou hranu aktivuje proudem horkého vzduchu. Vzhledem k tvarové paměti základního materiálu po smrštění (tvar „V“ se smrští na tvar „U“) a výborné přilnavosti lepidla, vykazuje lemovka vysokou odolnost vůči mechanickému namáhání ve velkém rozsahu pracovních teplot. [19]



Obr. 13.2 – Sedačka s TS® HRANOU

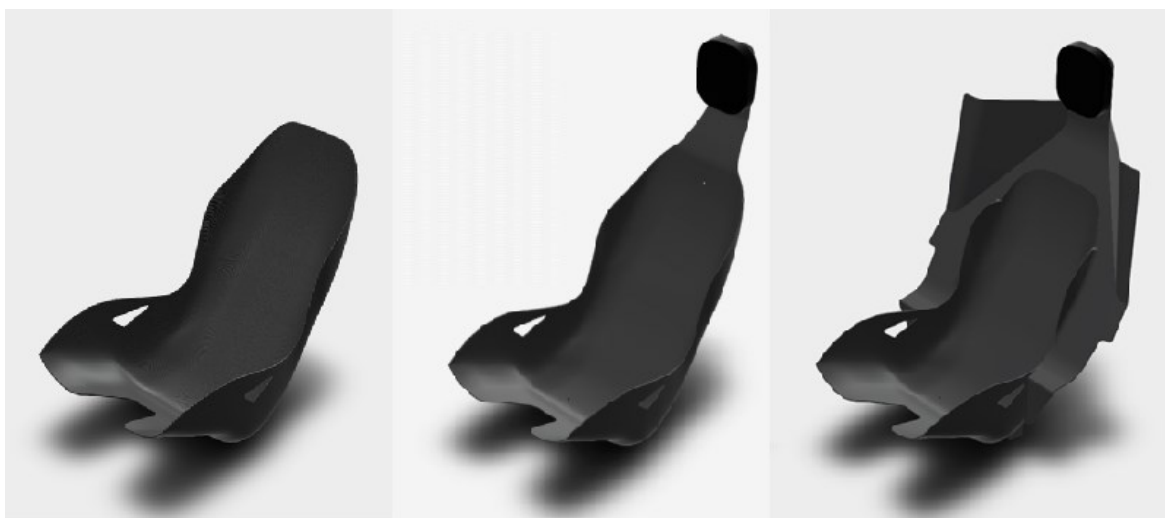
14. Porovnání sedaček

Původní řešení týmu Formula Student VŠB-TU Ostrava umožňovalo řízení formule, ale pouze provizorním způsobem. Daleko lépe byli situovány sedačky, které jsou současně používány. Tyto sedačky již disponují ergonomickými prvky a jsou v souladu s většinou pravidel SAE©.



Obr. 13.1 – Sedačky Formula Student VŠB-TU Ostrava

Sedačky navržené touto dohání nedostatky sedaček současných. Příkladem je splnění profilu pilota 95. percentilu mužské postavy. Současné sedačky disponují menšími rozměry a tím omezují škálu pilotů. Větší rozměry a zvětšení podpor pro pilota ovšem přináší nárůst v hmotnosti. Zda je výhodnější lepší umístění pilota ve voze nebo nižší hmotnost sedačky by už ukázali jedině výsledky závodů. Na obr. č. jsou verze S03, S04 a SF06. Verze S04 je schopna ušetřit hmotnost díky zabudované opěrce hlavy. Verze SF06 navíc kombinuje firewall se sedačkou a nabízí více prostoru pro pohonné prvky, baterii nebo nádoby.



Obr. 13.1 – Verze S03, S04, SF06

15. Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat Dr. Ing. Anně Plchové za ochotu a cenné rady při konzultacích a také týmu Formula Student VŠB-TU Ostrava za spolupráci.

16. Závěr

Práci hodnotím jako přínosnou, získal jsem nové zkušenosti s programem Autodesk Inventor Professional 2018, především v oblasti tvarování nepravidelných tvarů. Pro tvorbu obdobných součástí bych ho však nedoporučoval. Místy bylo složité najít příčinu problému a při testování funkcí docházelo i ke zkolabování programu. Dále jsem si rozšířil znalosti v oblasti studenstkých formulí typu SAE©. Prošel jsem si vývojem produktu – od začátku do konce a to s využitím spolupráce týmu formule všb-tuo ostrava.

Vytvořeny byly 4 varianty sedaček z toho 2 pracovní, které posloužili k vývoji variant funkčních. Díky nim jsem se naučil s nástroji programu a také odhalily problémy, které jsem touto prací vyřešil. Zbylé dvě varianty jsou konceptem plnohodnotné sedačky splňující všechny stanovené cíle a zásady. Při tvorbě všech čtyř variant vnikala řada verzí každé z nich. Dále jsem vytvořil koncept firewall, kterým je možno získat více prostoru za sedačkou a podél ní. Závěrečným modelem byla kombinace modelu sedačky a firewallu. Součástí práce bylo konstrukční řešení uchycení sedačky k rámu formule. Byli provedeny nezbytné pevnostní analýzy a byl proveden rozbor možností výroby takto navržené sedačky. V příloze lze najít výkres sestavy a výrobní výkresy jednotlivých součástí.

17. Seznam použité literatury

- [1] Společná fotka účastníků účastníků závodu [online] [cit. 2015-17-05]. Dostupné z https://it.wikipedia.org/wiki/Formula_SAE
- [2] Formule VŠB-TUO [online] [cit. 2015-17-05]. Dostupné z <http://formula.vsb.cz/cs>
- [3] Sedačka automobilu [online] [cit. 2015-17-05]. Dostupné z <http://www.vicky.in>
- [4] Sedačka automobilu [online] [cit. 2015-17-05]. Dostupné z <http://autofluids.ru>
- [5] Autosedačka [online] [cit. 2015-17-05]. Dostupné z <https://www.kasperek-baby.cz>
- [6] Autosedačka [online] [cit. 2015-17-05]. Dostupné z http://www.bebepolis.es/18_maxi-cosi
- [7] Sedačka Neela Jani [online] [cit. 2015-17-05]. Dostupné z <https://www.xsimulator.net>
- [8] Závodní sedačka [online] [cit. 2015-17-05]. Dostupné z <https://www.tillett.co.uk>
- [9] Závodní sedačka [online] [cit. 2015-17-05]. Dostupné z <http://www.grandprixracewear.fr>
- [10] Sedačka Audi A6 [online] [cit. 2015-17-05]. Dostupné z <https://www.automobilrevue.cz>
- [11] Sedačka týmu z univerzity v Dundee [online] [cit. 2015-17-05]. Dostupné z <https://lewis212.wordpress.com/formula-student>
- [12] Pravidla SAE© [online] [cit. 2015-17-05]. Dostupné z <https://www.fsaeonline.com>
- [13] Bezpečnostní pásy [online] [cit. 2015-17-05]. Dostupné z <https://www.sparco-shop.cz/pasy-2>
- [14] Zorné pole [online] [cit. 2015-17-05]. Dostupné z <http://www.buildyourownracecar.com/race-car-driver-ergonomics-and-design>
- [15] Ergonomie Hrudíková [online] [cit. 2017-09-05]. Dostupné z <http://lms.vsb.cz/course/view.php?id=30750>
- [16] Ergonomie pilota [online] [cit. 2015-17-05]. Dostupné z <http://www.buildyourownracecar.com/race-car-safety-and-design>
- [17] Ergonomie pilota [online] [cit. 2015-17-05]. Dostupné z <http://www.buildyourownracecar.com/race-car-driver-ergonomics-and-design/2>

- [18] RODRÍGUEZ Raúl, *Firewall and driver's seat for Formula Student Race Car FEST11*, Master Thesis. Tallinn University of Technology, Faculty of Mechanical Engineering, 2011
- [19] MKP [online] [cit. 2015-17-05]. Dostupné z https://cs.wikipedia.org/wiki/Metoda_konecných_prvku
- [20] TS® HRANA [online] [cit. 2015-17-05]. Dostupné z <https://www.novato.cz/produkt/241/ts-hrana>

18. Seznam příloh

- [1] Pravidla SAE©
- [2] Výkresová dokumentace 1xA0 1xA1 1xA3 6xA4